ISSN 2218-0311

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)
В. М. Бурдзь (Беларусь)
А. М. Вітчанка (Беларусь)
А. А. Волчак (Беларусь)
В. В. Грычык (Беларусь)
А. Л. Гулевіч (Беларусь)
К. К. Красоўскі (Беларусь)
А. А. Махнач (Беларусь)
А. В. Мацвееў (Беларусь)
В. А. Несцяроўскі (Украіна)
У. У. Салтанаў (Беларусь)
А. Юўка (Польшча)
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

ХІМІЯ
БІЯЛОГІЯ
НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

НАВУКОВА-ТЭАРЭТЫЧНЫ ЧАСОПІС

Выходзіць два разы ў год

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

№ 2 / 2020

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 30.01.2020 № 22
(са змяненнямі, унесенымі загадам ВАК ад 20.11.2020 № 271)
часопіс «Веснік Брэсцкага ўніверсітэта.
Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі»
ўключаны ў Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь
для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў
па біялагічных, геаграфічных і геолага-мінералагічных навуках

ЗМЕСТ

ХІМІЯ

Ступень Н. С. Физико-химические аспекты процесса твердения композиционных магнезиальных вяжущих в зависимости от концентрации хлорида магния 5

БІЯЛОГІЯ

Гайдук В. Е., Власюк А. В. Динамика численности, плотности и добычи охотничьих парнокопытных (Artiodactyla) в лесоохотничьих хозяйствах Брестской области 13

Ленивко С. М. Влияние различных концентраций стероидных соединений на формирование проростков в эмбриокультуре мягкой пшеницы сорта «Василиса» 23

Матусевич Н. М. Оценка состояния водохранилищ Большие и Малые Сои методом альгоиндикации 31

Сорока А. В., Терлецкая Н. Ф., Антонюк А. С. Влияние органических удобрений на основе зерноотходов на урожайность кормовых культур и плотность почвы 38

Филиппова Д. П., **Колбас Н. Ю.**, **Решетников В. Н.** Сравнительный анализ антиоксидантной активности и общего количества фенольных соединений представителей рода полисциас (*POLYSCIAS SPP.*) 44

Тюлькова Е. Г. Сезонная динамика содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений различных возрастных групп в условиях воздействия летучих органических соединений 50

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

Галкин П. А., Красовская И. А., Галкин А. Н. Функционально-планировочная организация Витебска и ее роль в оценке геоэкологической обстановки города 60

Гречаник Н. Ф. Искорные формы рельефа на территории Брестского Полесья 69

Дорожко О. О., Грядунова О. И., Панько С. В., Богдасаров М. А. Влияние биоклиматических условий на общую заболеваемость взрослого населения Брестской области 77

Кашутчык К. І., Трацэўская А. Ю. Умовы ападканазапашвання азёрна-алювіяльных адкладаў на падставе іх уласцівасцяў 86

Маевская А. Н., Шешко Н. Н., Богдасаров М. А. Алгоритм обработки данных геологических изысканий с применением ГИС-технологий (на примере материалов буровой изученности территории Брестской области) 94

Михальчук Н. В., Дашкевич М. М., Брыль Е. А., Галуц О. А., Михальчук С. Н. Содержание тяжелых металлов в огородных почвах жилой усадебной застройки г. Бреста 104

Обуховский Ю. М. Индикационный анализ ландшафтов Брестского Полесья 110

Пиловец Г. И., Дубовский М. А. Агрометеорологические условия возделывания кукурузы на зерно на территории Витебской области в условиях потепления климата 118

Сидорович А. А. Формирование трудовых ресурсов Беларуси в условиях депопуляции и старения населения 125

Соколов А. С. Сравнительный анализ динамики воспроизводства городского и сельского населения Гомельской области в 2010-х гг. 137

Томаш М. С. Рекреационный потенциал лимносистем г. Гомеля 148

Сплодитель А. О., Сорокина Л. Ю. Геоэкологический мониторинг антропогенных изменений ландшафтов Украины 156

© Выдавецтва БрДУ імя А. С. Пушкіна, 2020

ISSN 2218-0311

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)
V. M. Burdz (Belarus)
A. M. Vitchanka (Belarus)
A. A. Volchak (Belarus)
V. V. Grynchyk (Belarus)
A. L. Gulevich (Belarus)
K. K. Krasouski (Belarus)
A. A. Makhnach (Belarus)
A. V. Matsveyeu (Belarus)
V. A. Nestsyarouski (Ukraine)
V. V. Saltanau (Belarus)
A. Juvka (Poland)
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

CHEMISTRY
BIOLOGY
SCIENCES ABOUT EARTH

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

Issued twice a year

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

№ 2 / 2020

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 January 30, 2020 nr 22 (with the amendments made by the orders of Supreme Certification Commission from November, 20, 2020 nr 271) the journal «Vesnik of Brest University. Series 5. Chemistry. 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

INDEX

CHEMISTRY

Stupen N. S. Physical and Chemical Aspects of Hardening
of Composite Magnesia Binders Depending on the Concentration of Magnesium Chloride Solution 5

BIOLOGY

Gaiduk V. E., Vlasyuk A. V. Dynamics of the Quantity, Density and Production
of Hunting Ungulates (Artiodactyla) in Forest Hunting Farms of the Brest Region 13

Lenivko S. M. The Effects of Various Concentrations of Steroid Compounds
on the Formation of Seedlings in the Embryo Culture of Soft Wheat of the Cultivar «Vasilisa» 23

Matusevich N. M. Assessment of the State of Reservoirs Big and Small Soi
by the Method of Algoindication 31

Soroka A. V., Tsiarletskaya N. F., Antoniuk A. S. Influence of Organic Fertilizers Based
on Grain Waste on the Yield of Forage Cultures and Soil Density 38

Filippova D. P., Kolbas N. Y., Reshetnikov V. N. Comparative Analysis Anti-Oxidant Activity
and Total Phenolic Compounds of the Genus Polyscias (POLYSCIAS SPP.) 44

Tyulkova E. G. Seasonal Dynamics of Photosynthetic Pigment Content
in Leaves of Wood Plants of Different Age Groups Under Exposure Conditions
Volatile Organic Compounds 50

SCIENCES ON EARTH

Galkin P. A., Krasovskaya I. A., Galkin A. N.
Functional Planning Organization of Vitebsk
and Its Role in the Assessment of the Geoecological Situation of the City 60

Grachanik N. F. Sparking Relief Forms in the Territory of Brest Polesie 69

Dorozhko O. O., Gryadunova O. I., Panko S. V., Bogdasarov M. A.
Influence of Bioclimatic Conditions on the Overall Morbidity
of the Adult Population of the Brest Region 77

Kashutchyk K., Tratseuskaja A. Sedimentation Conditions
of Lake-Alluvial Sediments Based on Their Properties 86

Mayevskaya A. N., Shesko N. N., Bogdasarov M. A.
Algorithm for Processing Data of Geological Surveys Using Gis Technologies
(on the example of the materials of drilling study of brest region territory) 94

Mikhalchuk N. V., Dashkevich M. M., Bryl A. A., Galuts O. A., Mikhalchuk S. N.
Heavy Metals Content in Garden Soils of Residential Estate Buildings in Brest 104

Obukhovsky Yu. M. Indicative Analysis of Landscapes of the Brest Polesie 110

Pilovets G. I., Dubovsky M. A. Agrometeorological Conditions
for the Cultivation of Corn for Grain in on the Territory of Vitebsk Region in Climate Warming 118

Sidorovich A. A. Formation of Labor Resources of Belarus
Under Conditions of Depopulation and Aging of the Population 125

Sokolov A. S. Comparative Analysis of Reproductive Dynamics
of Gomel Oblast Urban and Rural Population in the 2010s 137

Tomash M. S. Recreational Potential of Gomel's Limnosystems 148

Splodytel A. O., Sorokina L. Yu. Geoecological Monitoring
of Antropogenic Landscape Changes in Ukraine 156

© Publishing House of Brest State A. S. Pushkin University, 2020

ХІМІЯ

УДК 372.854

Н. С. Ступень
канд. техн. наук, доц., доц. каф. химии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
e-mail: chemskorp@yandex.ru

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССА ТВЕРДЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРИДА МАГНИЯ

Представлены экспериментальные данные о фазовом и минералогическом составе в системах MgO –·$MgCl_2$ – H_2O и MgO·– $MgCl_2$ – SiO_2 – H_2O в зависимости от концентрации раствора·$MgCl_2$. Рассмотрены физико-химические особенности твердения композиционных кремнеземсодержащих вяжущих.

STUPEN N. S.

PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS OF HARDENING OF COMPOSITE MAGNESIA BINDERS DEPENDING ON THE CONCENTRATION OF MAGNESIUM CHLORIDE SOLUTION

The article presents experimental data on the phase and mineralogical composition in the MgO–$MgCl_2$–H_2O and MgO–$MgCl_2$– SiO_2–H_2O systems depending on the concentration of the mg $MgCl_2$ solution. Physical and chemical features of the solidification of composite silica-containing binders are considered.

Введение

Как известно, твердение магнезиальных вяжущих сопровождается сложными физико-химическими процессами. Оксид магния, растворимость которого в воде очень незначительна (0,001 г/л), образует насыщенный раствор. В растворе происходит взаимодействие оксида магния с водой, в результате которого образуется сначала гелеобразный, а затем кристаллический гидроксид магния $Mg(OH)_2$ [1]:

$$MgO_{(тв.)} = MgO_{(раств.)} = MgO_{(нас.\ раств.)}$$
$$MgO_{(нас.\ раств.)} + H_2O = Mg(OH)_2 + Q$$
$$Mg(OH)_{2(нас.)} = Mg(OH)_{2(перенас.)} = Mg(OH)_{2\ (тв.)}.$$

Растворимость оксида магния зависит от удельной поверхности, ориентации кристаллов, концентрации дефектов и температуры. В свою очередь скорость растворения зависит от скорости диффузии растворенных молекул оксида магния через слой насыщенного раствора. Немаловажную роль в этом процессе играет pH среды. При низких значениях pH растворение оксида магния определяется поверхностной реакцией между протоном водорода и оксидом, а при увеличении водородного показателя процесс переходит в диффузионную область и определяется растворимостью магния в воде. При повышении температуры растворимость MgO в воде уменьшается, но скорость растворения увеличивается [1–3]. Медленная гидратация объясняется тем, что оксид покрывается пленкой аморфного коллоидального гидроксида $Mg(OH)_2$.

Растворимость оксида магния в значительной степени повышается в присутствии хлорид- и сульфат-ионов. При гидратации оксида магния в растворах солей хлоридов и сульфатов образуются преимущественно гелеобразные продукты и кристаллы игольчатой формы [2]. Скорость гидратации увеличивается, среди продуктов гидратации появляются оксохлориды или оксосульфаты магния (в зависимости от вида соли). Согласно литературным данным состав образуемых оксохлоридов самый разнообразный, что зависит от водородного показателя среды, а также концентрации применяемой

соли: $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$, $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}10H_2O$, $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}6H_2O$, $5MgO\cdot MgCl_2{\cdot}12H_2O$, $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$, $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}18H_2O$ [3].

Анализ сведений о составе оксохлоридов указывает на некоторые противоречия, касающиеся основности и количества молекул воды. Но анализ системы $MgO–MgCl_2–H_2O$ дает основания говорить, что наиболее устойчивыми соединениями при комнатной температуре в растворах хлорида магния с концентрацией больше 15 % являются $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$ и $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$. Отклонения количества молекул воды в кристаллогидратах от указанного выше, вероятно, объясняется изменениями температуры и парциального давления паров в окружающем воздухе. Так, оксохлориды состава $3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}11H_2O$ при повышении температуры и понижении влажности могут обезвоживаться, теряя при этом до 4,2 молекул воды, а при повышении влажности и понижении температуры – обводняться, присоединяя до 12,5 молекул воды [2; 3]. Оксохлорид $5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}13H_2O$, полученный на 35 %-м растворе $MgCl_2$ при определенных условиях может обезвоживаться даже до двух молекул воды.

Трудность в изучении оксохлоридов связана еще и с тем, что многие из них имеют нестехиометрические составы. Кроме этого, в области более низких концентраций $MgCl_2$ (меньше 15 %) образуется промежуточное соединение $Mg[(OH)_nCl_{2-n}]$, имеющее структуру, изоморфную структуре гидроксида магния [3–4].

При длительном контакте с воздухом продукты твердения цементного камня подвергаются карбонизации [4]. В этом случае могут образовываться хлоркарбонат магния $MgCl_2{\cdot}2MgCO_3{\cdot}Mg(OH)_2{\cdot}6H_2O$ [3] и и гидрокарбонаты типа $MgCO_3{\cdot}nH_2O$ [4]. Со временем количество этих продуктов твердения увеличивается, а их кристаллы заполняют пространства между кристаллами гидроксидов и оксохлоридов магния. Так как свободный рост кристаллов карбонатов ограничен недостатком пространства, процесс этот сопровождается уплотнением и упрочнением структуры затвердевшего цементного камня. Естественная карбонизация идет очень медленно [4].

Таким образом, при твердении хлормагнезиального цемента образуются гидроксид и оксохлориды магния различного состава. Преобладание того или иного продукта в фазовом составе затвердевшего цементного камня зависит от концентрации раствора затворения (р-р $MgCl_2$), т. е. от соотношения $MgCl_2$ / MgO.

Образование оксохлоридов при твердении магнезиального цемента в значительной степени понижает устойчивость таких систем, что отрицательно сказывается на качестве изделий из магнезиальных вяжущих. Оксохлориды магния, составляющие основу продуктов гидратации оксида магния в присутствии хлорид-ионов, неустойчивы при действии воды и легко подвергаются гидролизу [3–5]:

$$3MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}8H_2O + nH_2O = 3Mg(OH)_2 + MgCl_2{\cdot}6H_2O + (n + 2)\ H_2O;$$
$$5MgO{\cdot}MgCl_2{\cdot}8H_2O + nH_2O = 5Mg(OH)_2 + MgCl_2{\cdot}6H_2O + (n + 2)\ H_2O.$$

Этот недостаток магнезиальных вяжущих устраняется введением в их состав активных гидравлических добавок. Актуальным является использование в качестве добавок техногенное сырье.

Твердые отходы можно разделить на две группы: отходы промышленных производств (техногенные) и бытовые.

Техногенные отходы образуются на предприятиях металлургической, химической, деревообрабатывающей, энергетической, горнодобывающей, строительных материалов и других отраслей промышленности.

Среди множества видов отходов предприятий промышленного значения можно выделить:

1. Доменные шлаки (лидер по масштабам использования). Шлак используется для производства портландцемента, позволяя значительно увеличить его выпуск. Он не только улучшает строительно-технические свойства материала, но и помогает снизить потребление энергетических ресурсов. Относительно новым строительным материалом на основе доменных шлаков являются шлакоситаллиты. Такой материал обладает отличными показателями прочности, а получают его методом каталитической кристаллизации шлакового стекла [5; 6].

2. Отходы сжигания твердых видов топлива – золошлаковая смесь, зола сухого удаления. Это также важные сырьевые ресурсы для выпуска разнообразных строительных материалов. Их применяют в производстве ячеистых и вяжущих бетонов, дорожном строительстве, выпуске стеновых материалов, производстве бетона.

3. Отходы химических производств: фосфогипс, фосфорные шлаки. Сфера их применения – выпуск стеновой керамики, изготовление кирпича.

4. Зола – несгорающий остаток с зернами мельче 0,16 мм, образующийся из минеральных примесей топлива при полном его сгорании и осажденный из дымовых газов золоулавливающими устройствами. В зависимости от вида топлива зола подразделяется на антрацитовую, каменноугольную, буроугольную, сланцевую, торфяную и др. [6].

5. Осадки бытовых или промышленных сточных вод, которые содержат, как правило, много органических веществ и значительные количества тяжелых металлов.

6. Неорганические отходы. Наибольшее число исследований посвящено использованию пыли и шлаков.

7. Органические отходы сельскохозяйственной, целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности. Используются главным образом в качестве порообразователей и для экономии энергии при обжиге.

Однако широкое применение техногенных отходов сдерживается определенной нестабильностью и неоднородностью многих побочных продуктов промышленности, что может привести к снижению качества строительной продукции. На изменчивость свойств таких отходов оказывают влияние не только условия их образования, но также химико-минералогический состав, условия и длительность хранения в отвалах [7].

Одним из наиболее эффективных направлений является использование промышленных отходов в качестве компонентов жаростойких материалов.

Промышленность строительных материалов является экологическим резервом за счет эффективности утилизации отходов производства и жизнедеятельности человека. Объем утилизируемых отходов в строительной промышленности составляет 10–15 % от их ежегодного образуемого количества [6].

Пыли и шламы с высоким содержанием диоксида кремния (ферросилиция и ферросиликохрома) находят применение в производстве жидкого стекла. Значительное количество пылей и шламов ферроплавильного производства может быть использовано также для получения вяжущих материалов с различными свойствами.

Следует отметить, что среди большого количества гидравлических добавок, влияющих на свойства магнезиальных композиций, обращают на себя внимание кремнеземсодержащие материалы. Поэтому цель наших исследований – это изучение физико-химических основ процессов, происходящих в системе $MgO–MgCl_2–SiO_2–H_2O$, которая отражает процессы твердения композиционных кремнеземсодержащих вяжущих.

Материалы и методы

Для исследования использовали оксид магния MgO, полученный при термическом обжиге карбоната магния, раствор хлорида $MgCl_2$ с концентрацией хлорида магния от 15 до 30 %. В качестве гидравлической добавки использовали микрокремнезем

(микросилику), представляющую собой высокодисперсную пыль кремнезема, содержащую не менее 85 % аморфного SiO_2.

Таким образом, была смоделирована система $MgO–MgCl_2–SiO_2–H_2O$, которая соответствует композиционному магнезиальному вяжущему, модифицированного активной гидравлической добавкой мелкодисперсного кремнезема.

Исследования проводили на образцах – кубиках 2×2×2 см, формованных литьем. Размеры образцов приняты из соображений в короткие сроки получить исследуемые зависимости. После распалубки образцы твердели 28 суток в естественных условиях.

Водостойкость материала оценивали определением коэффициента размягчения и водостойкости. Коэффициент размягчения определяли как частное от деления прочности водонасыщенных образцов (продолжительность насыщения 48 ч) и сухих образцов, а коэффициент водостойкости – как отношение прочности высушенных образцов после полного насыщения водой (в течение 4 ч) к прочности сухих, не подвергавшихся предварительному насыщению.

Фазовый состав затвердевших образцов определяли рентгенофазовым анализом, минералогический состав – петрографическими исследованиями шлифов.

Результаты и их обсуждение

Известно, что при твердении каустического магнезита на поверхности его зерен образуются пленки из гидроксида и оксохлоридов магния, препятствующие проникновению воды к негидратированным их ядрам.

Исследование продуктов твердения магнезиального цемента физико-химическими методами исследования без добавки аморфного мелкодисперсного кремнезема показало, что основными продуктами твердения являются оксохлориды магния (таблица 1).

Таблица 1. – Зависимость коэффициента размягчения образцов из магнезиального цемента от концентрации раствора $MgCl_2$

№ п\п	Концентрация р-ра $MgCl_2$, %	Коэффициент размягчения	Преобладающие продукты твердения
1	15	0,5	MgO, $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 14H_2O$, $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$
2	20	0,49	MgO, $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$, $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 10H_2O$
3	25	0,56	$3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, MgO, $Mg(OH)_2$, наличие высолов
4	30	0,55	$3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $Mg(OH)_2$, наличие высолов
5	5	0,5	$3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, MgO, $Mg(OH)_2$, наличие высолов

В зависимости от концентрации раствора $MgCl_2$ химический состав преобладающих продуктов немного варьирует. Следует отметить, что при концентрации раствора $MgCl_2$ 15–20 % среди продуктов твердения в значительной степени присутствует оксид магния MgO, который не подвергся гидратации. Это связано с тем, что растворимость MgO в воде при комнатной температуре мала. Роль хлорида магния заключается в повышении растворимости MgO. При этом различия в растворимости MgO и $Mg(OH)_2$ тем больше, чем больше концентрация раствора $MgCl_2$. При увеличении концентрации раствора $MgCl_2$ до 25 % среди продуктов твердения появляется труднорастворимый гидроксид магния $Mg(OH)_2$, что способствует улучшению физико-механических свойств изделий из магнезиального цемента. Водостойкость изделий также повышается. При дальнейшем увеличении концентрации затворителя качественный состав продуктов твердения не изменяется. Явно прослеживается наличие кристаллической фазы гидроксида магния $Mg(OH)_2$, но на поверхности образцов появляются высолы – выкри-

сталлизовывается избыточное количество хлорида магния, что делает невозможным применение таких составов магнезиального вяжущего для получения изделий. Кроме этого, среди продуктов твердения появляется коллоидная фаза частично гидратированного оксида магния MgO, что указывает на уменьшение растворимости его в воде при концентрации хлорида магния 35 % (таблица 1).

Присутствие аморфного кремнезема способствует увеличению скорости гидратации оксида магния. Скорость образования гидросиликатов при комнатной температуре в значительной степени зависит от дисперсности SiO_2. Установлено, что если кварцевые частицы имеют размеры меньше 20–30 мк, то они довольно быстро взаимодействуют с гидроксидом магния, образуя гидросиликаты. Это, в частности, обусловлено тем, что скорость образования гидросиликатов при комнатной температуре увеличивается с повышением концентрации силановых групп (–Si–OH), которая в свою очередь связана с дисперсностью кварцевого порошка. При помоле кварца происходит частичное разрушение связи –Si–O–Si – с образованием связи –O–Si –, которая с влагой воздуха легко образует на поверхности зерен кварца силановые связи – Si–OH.

Гидросиликаты магния образуются первоначально в виде гелевидных пленок, которые значительно устойчивее пленок $Mg(OH)_2$. Эти выводы были получены путем измерения электропроводности жидкой фазы [8].

К существенным кинетическим факторам относятся степень соприкосновения фаз, находящаяся под влиянием тонкости помола, времени выдержки, применения различных модификаций. Эти факторы существенным образом влияют на термодинамические константы исходных материалов, а следовательно, и на ожидаемый результат взаимодействия. Однако в отдельных случаях кинетические факторы можно ограничить. Это касается и силикатных систем. В подобных случаях скорости реакций определяются диффузионными процессами, связанными с транспортом структурных единиц компонентов, участвующих в реакции, к соответствующим границам фаз.

Установлено, что гидросиликаты магния могут образовываться уже при комнатной температуре, причем наиболее предпочтительным гидросиликатом является сепиолит – $Mg_3(H_2O)_3[Si_4O_{11}]H_2O$ ($3MgO \cdot SiO_2 \cdot 4H_2O$) [8].

Так как в системе $MgO–SiO_2–H_2O$, образующийся гидроксид магния со временем карбонизируется углекислым газом воздуха, pH системы несколько снижается и начинается процесс образования гидросиликатов. Это связано с тем, что при высоких значениях водородного показателя не создаются условия для образования полисиликатных ионов, с которыми ионы магния при реакции образуют водонерастворимые гидросиликаты [9, 10].

Скорость образования гидросиликатов в значительной степени зависит от температуры и влажности. При повышении температуры от 20 до 100 °C скорость реакции увеличивается приблизительно в 700 раз, т. е. после 6-месячного взаимодействия при 20 °C образуется такое же количество гидросиликатов, что и при 6-часовом синтезе при 100 °C. Заметно увеличивается кристаллизация гидросиликатов магния при тепловлажностной и гидротермальной обработке. В этих условиях образуются серпентин и силикаты группы талька [8].

При введении в магнезиальный цемент мелкодисперсный активный кремнезем SiO_2 в период твердения имеет место не только образование гидроксида и оксохлоридов магния, но и взаимодействие гидросида магния с активной формой SiO_2. При комнатной температуре этот процесс идет медленно и не завершается за 28 суток твердения образцов. Об этом свидетельствует анализ рентгенограмм образцов «разного возраста»: 28, 56, 84 суток твердения. Результаты физико-химических исследований продуктов твердения композиционного магнезиального вяжущего представлены в таблицах 2–4.

Действие добавки микроремнезема при твердении магнезиального цемента связано с протеканием химических взаимодействий между аморфным SiO_2 с оксидом и с гидроксидом магния в растворе хлорида магния. В результате образуются соединения типа гидросиликатов магния (сепиолит и серпентин), обладающих гидравлическими свойствами и тем самым повышающих водостойкость магнезиального цемента.

Таблица 2. – Зависимость коэффициента размягчения образцов с добавкой 15 % микрокремнезема от концентрации раствора $MgCl_2$ (28 суток твердения)

№ п\п	Концентрация р-ра $MgCl_2$, %	Коэффициент размягчения	Преобладающие продукты твердения
1	15	0,55	$3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$, MgO, $Mg(OH)_2$, SiO_2
2	20	0,58	$3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $Mg(OH)_2$, SiO_2
3	25	0,60	$3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$, $Mg(OH)_2$, SiO_2
4	30	0,62	$3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$, $Mg(OH)_2$, SiO_2
5	35	0,66	MgO, $Mg(OH)_2$, $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, SiO_2

Таблица 3. – Зависимость коэффициента размягчения образцов с добавкой 15 % микрокремнезема от концентрации раствора $MgCl_2$ (56 суток твердения)

№ п\п	Концентрация р-ра $MgCl_2$, %	Коэффициент размягчения	Преобладающие продукты твердения
1	15	0,66	$3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$, MgO, $Mg(OH)_2$, $SiO_2 \cdot 4H_2O$
2	20	0,70	$2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$ (сепиолит), $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $SiO_2 \cdot 4H_2O$, MgO, $Mg(OH)_2$
3	25	0,78	$2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$(сепиолит), $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$ $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $SiO_2 \cdot 4H_2O$, $Mg(OH)_2$
4	30	0,80	$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$(серпентин), $2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$ (сепиолит), $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $Mg(OH)_2$
5	35	0,79	$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$(серпентин), $2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$ (сепиолит), $Mg(OH)_2$, $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$

Таблица 4. – Зависимость коэффициента размягчения образцов с добавкой 15 % микрокремнезема от концентрации раствора $MgCl_2$ (84 суток твердения)

№ п\п	Концентрация р-ра $MgCl_2$, %	Коэффициент размягчения	Преобладающие продукты твердения
1	15	0,66	$3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H_2O$, MgO, $Mg(OH)_2$, $SiO_2 \cdot 4H_2O$
2	20	0,72	$2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$ (сепиолит), $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$,
3	25	0,85	$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$(серпентин), $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $Mg(OH)_2$
4	30	0,89	$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$(серпентин), $2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$ (сепиолит), $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $Mg(OH)_2$
5	35	0,87	$3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$(серпентин), $2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$ (сепиолит), $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$

Возникновение гидросиликатов магния протекает через стадию образования аморфной фазы, которая в сочетании с кристаллической обеспечивает повышение прочности. Скорость кристаллизации новообразований в значительной степени зависит от концентрации раствора затворителя [9; 10].

Большая склонность кремнезема, силикатов и родственных им соединений к образованию коллоидов во многом определяется кристаллохимическими особенностями продуктов их гидратации, что в первую очередь связано с их способностью к полимеризации (поликонденсации). Это вытекает из того, что крупные полимерные ионы, имея избыточный заряд, не всегда могут его нейтрализовать путем вхождения в решетку какого-то соединения, а обеспечивают свою электронейтральность путем создания слоя противоионов с образованием коллоидной мицеллы.

Выкристаллизовавшиеся из геля гидросиликаты магния имеют спутанно-волокнистое строение, что подтверждается петрографическим изучением шлифов образцов из композиционного вяжущего. Кристаллические образования способствуют повышению структурно-механических свойств магнезиального цемента.

Сравнительный анализ шлифов показал, что введение в систему микрокремнезема приводит к уменьшению содержания в материале непрореагировавших зерен оксида магния, увеличивает долю аморфной и скрытокристаллической фаз, которые представлены не только бруситом $Mg(OH)_2$, но в небольшом количестве гидросиликатами магния, близкими по своей структуре к природным минералам сепиолиту и серпентину. Увеличивается доля хорошо закристаллизованных оксохлоридов магния. В присутствии микрокремнезема изменяется не только минералогический состав, но и структура материала.

Известно, что структуры, образующиеся в дисперсных системах можно разделить на коагуляционные, конденсационные и кристаллизационные. Коагуляционные образуются при сцеплении частиц ван-дер-ваальсовыми силами в звенья, цепочки, пространственные сетки, агрегаты. Конденсационные и кристаллизационные структуры возникают в результате срастания частиц за счет образования химических связей с формированием жесткого каркаса. В шлифах из образцов без добавки кремнезема и с добавкой мирокремнезема встречаются сложные комбинации коагуляционной, конденсационной и кристаллизационной структур. Отмечается наличие уплотненного аморфного и скрытокристаллического материала, в которые погружены тонкопризматические чешуйчатые и игольчатые агрегаты новообразований, относящиеся к оксохлоридам, гидроксиду и тонкие кристаллы гидросиликатов магния, выкристаллизовывавшихся из геля. Но для шлифа из образца без добавки кремнезема преобладает сочетание в основном коагуляционной и кристаллизационной структур, в то время как в материале с добавкой микрокремнезема в равной степени присутствуют все три структуры, что придает материалу дополнительную прочность.

Таким образом, из результатов комплексного исследования продуктов твердения магнезиального цемента, модифицированного 10 % микрокремнезема, следует, что при твердении образцов фазовый состав представлен гтдроксидом, оксохлоридами магния ($3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$, $5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$), а также гидросиликатами типа природного минерала сепиолита ($2MgO \cdot 3SiO_2 \cdot 4H_2O$) и в небольшом количестве серпентина ($3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$).

Заключение

Выявлена зависимость формирования структуры в системе $MgO–MgCl_2–SiO_2–H_2O$ (магнезиального камня) от концентрации раствора хлорида магния $MgCl_2$.

Установлено, что раствор $MgCl_2$ с концентрацией 25–30 % обеспечивает условия для образования оптимального содержания оксохлоридов $3MgO \cdot MgCl_2 \cdot 11H2O$,

$5MgO \cdot MgCl_2 \cdot 13H_2O$ и гидроксида типа брусита $Mg(OH)_2$ и гидросиликатов типа сепиолита $2MgO\ 3SiO_2 \cdot 4H_2O$ и серпентина $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$.

Анализ экспериментальных данных показал, что при увеличении концентрации раствора $MgCl_2$ с 15 до 30 % повышается водостойкость данных композиций, а значит, и механические свойства образцов улучшаются. Дальнейшее увеличение концентрации жидкости затворения не оказывает какого-либо влияния на прочность и долговечность изделий из магнезиального цемента.

Применение раствора $MgCl_2$ с концентрацией 20–30 % для магнезиального вяжущего без гидравличесих добавок приводит к появлению высолов в виде белых пленок. Аморфный кремнезем (15 % по массе) обеспечивает сочетание коагуляционной, конденсационной и кристаллизационной структур, цементный камень приобретает максимальную прочность. В свою очередь частицы ультрадисперсного кремнезема могут являться дополнительными центрами кристаллизации продуктов твердения магнезиального цемента, в частности оксохлоридов магния.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вайвад, А. Я. Магнезиальные вяжущие вещества / А. Я. Вайвад. – Рига : Зинатне, 1991. – 331 с.

2. Влияние концентрации суспензии MgO и растворов $MgCl_2$ на физико-механические свойства магнезиального камня / А. П. Полтавцев [и др.] // Вісн. Одес. держ. академії будівництва та архітектури. – 2009. – Вип. 46. – С. 42–52.

3. Головнев, С. Г. Высокоэффективные строительные технологии и материалы на основе магнезиального вяжущего / С. Г. Головнев // Акад. вестн. УралНИИпроект РААСН. – 2009. – № 3. – С. 86–87.

4. Unluer, C. Characterization of Light and Heavy Hydrated Magnesium Carbonates Using Thermal Analysis / C. Unluer, A. Al-Tabbaa // J. Therm. Anal. Calorim. – 2014. – № 115. – P. 595–607.

5. Отходы производства и потребления. Классификация и виды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://instr.deal.by/a31974-othody-proizvodstva-potrebleniya.html. – Дата доступа: 25.09.2018.

6. Козубская, Т. Г. Использование техногенных отходов в производстве строительных материалов / Т. Г. Козубская // Строит. материалы. – 2002. – № 2. – С. 10.

7. Ступень, Н. С. Добавки в бетонные композиции: экологические и химические аспекты / Н. С. Ступень // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. пр. / Палес. аграр.-экал. ін-т НАН Беларусі ; рэдкал.: М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтернатива, 2016. – Вып. 8. – С. 29–31.

8. Бабушкин, В. И. Термодинамика силикатов / В. И. Бабушкин, Г. М. Матвеев, О. П. Мчедлов-Петросян. – М. : Наука, 1972. – 215 с.

9. Мальцев, В. Т. Трансформация продуктов твердения композиционных магнезиальных вяжущих во времени / В. Т. Мальцев, Н. С. Ступень // Прочность и долговечность строительных материалов : сб. науч. ст. – Ростов н/Д : Рост. гос. акад. стр-ва, 1994. – С. 42–47.

10. Зависимость водостойкости прессованных материалов на основе воздушных вяжущих веществ от величины открытой пористости / А. В. Каклюгин [и др.] // Изв. вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2020. – № 10 (1). – С. 68–75.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 02.09.2020

БІЯЛОГІЯ

УДК 599. 73

В. Е. Гайдук[1], А. В. Власюк[2]
[1]д-р биол. наук, проф. каф. зоологии и генетики
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
[2]магистрант биологического факультета
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
e-mail: iva.abramova@gmail.com

ДИНАМИКА ЧИСЛЕННОСТИ, ПЛОТНОСТИ И ДОБЫЧИ ОХОТНИЧЬИХ ПАРНОКОПЫТНЫХ (ARTIODACTYLA) В ЛЕСООХОТНИЧЬИХ ХОЗЯЙСТВАХ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

К ресурсным видам в лесоохотничьих хозяйствах Брестской области относятся Sus scrofa, Alces alces, Cervus elaphus, Capreolus capreolus. Динамика численности и плотности у оленьих в последнее десятилетие имеет положительный тренд, у кабана с 2014 г. отмечено резкое снижение этих показателей. Процент изъятия парнокопытных в лесоохотничьих хозяйствах колеблется в значительных пределах, в среднем составляет у Alces alces 10,43 ± 4,06, у Cervus elaphus – 89,14 ± 16,5, у Capreolus capreolus – 186,0 ± 24,34, у Sus scrofa – 717,0 ± 133,12 особей.

GAIDUK V. E., VLASYUK A. V.

DYNAMICS OF THE QUANTITY, DENSITY AND PRODUCTION OF HUNTING UNGULATES (ARTIODACTYLA) **IN FOREST HUNTING FARMS OF THE BREST REGION**

Resource species in forest-hunting farms in the Brest region include Sus scrofa, Alces alces, Cervus elaphus, and Capreolus capreolus. The dynamics of the quantity and density of deers in the last decade has a positive trend, has seen a sharp decline in these indicators since 2014 for boar. The percentage of removal of artiodactyls in forest-hunting farms varies significantly, with an average of 10.43 ± 4.06 in Alces alces, 89.14 ± 16.5 in Cervus elaphus, 186.0 ± 24.34 in Capreolus capreolus and 717.0 ± 133.12 in Sus scrofa.

Введение

Проблема сохранения биоразнообразия, рационального использования и охраны животных во многих странах [1], в том числе и Беларуси, в настоящее время является актуальной и приоритетной. Для решения данной задачи необходим мониторинг численности ресурсных, редких и исчезающих видов животных, изучение влияния антропогенного воздействия на экосистемы, в которых обитают животные. Копытным Беларуси посвящены многие работы, в т. ч. 3 кандидатские и 1 докторская диссертации [2–5].

В Беларуси на начало XXI в. насчитывается 77 видов млекопитающих [6], включая 4 наиболее важных ресурсных вида парнокопытных: *Sus scrofa*, *Alces alces*, *Capreolus capreolus* и *Cervus elaphus*. Численность популяций данной группы зверей определяется множеством факторов, основными из которых являются погодные условия зимнего периода, наличие и доступность корма, изъятие животных в процессе охоты, браконьерство. Определенное влияние на численность копытных оказывает *Canis lupus*. Контроль за состоянием популяций этих видов и планирование их добычи осуществляется на основе данных учетов численности охотничьих видов животных.

Состояние численности и добычи зверей в различные временные отрезки за последние 60 лет в Брестской области рассматривалось в ряде работ [7–10]. Численность копытных и их добыча в Брестской области за период 1973–1998 гг. постепенно увеличивалась [7], например, количество лосей в этот временной отрезок колебалось от 900 до 2 980 особей, в среднем 1 780,4 ± 140,7. Было добыто 3 998 особей лося. В 1994–1997 гг. добыча резко упала.

Численность благородного оленя в регионе увеличилась с 38 особей в 1973 г. до 694 в 1998 г. За это время было изъято 180 животных [7]. Самым многочисленным видом среди оленьих является косуля. Численность ее варьировала в пределах 2 081–4 600 особей и в среднем составляла 3 299,3 ± 182,3. Добывали ее по лицензиям с 1982 г. в количестве нескольких десятков особей. Несколько ниже была численность дикого кабана, которая колебалась от 1 464 до 3 920 особей, в среднем 2 636 ± 150,9. Ежегодно добывали в среднем 263 зверя с вариациями от 101 до 628. Процент изъятия животных от их общей численности составлял 4,1–6,0. Отметим, что, по официальным данным, в 2005 г. в Беларуси добыто лося 3,7 % от общей численности, благородного оленя – 6,8 %, косули – 5,7 %, кабана – 14,4 %, что существенно ниже реального прироста у копытных. Показатель доли изъятия по этим видам остается стабильным в течение 2000–2005 гг. и в среднем по Беларуси составляет: лось – 3 %, олень – 3,2 %, косуля – 6,0 %, кабан – 12,5 % [11].

Позже, в 2005–2014 гг. численность и добыча охотничьих зверей в Беларуси и Брестской области рассматривались в бюллетенях [12; 13]. Было показано, что динамика численности важнейших охотничьих видов парнокопытных слабо колеблется в последние годы. В Брестской области, как и в целом в Беларуси, наблюдается тенденция к росту численности копытных и других животных [7]. За последние 25 лет (1990–2014) наибольшая их численность в Беларуси была: лося в 2014 г. – 30 140 особей, благородного оленя в 2014 г. – 13 624, косули – в 2011 г.– 71 477, кабана – в 2013 г. – 80 400 особей [11; 13].

Численность волка, который наносит значительный урон копытным в регионе, варьировала в пределах 103–323 особи, в среднем 238,4 ± 99,0. У этого вида было зарегистрировано 5 пиков численности. За 1982–1998 гг. было отстреляно 2 545 зверей, в среднем в год добывалось 159 волков. Отношение добычи волка к численности составляло 48,7–79,2 % [7]. Динамика численности и добычи волка в БССР – Республике Беларусь в 1980–2010 гг. показала, что в среднем его численность варьирует по годам в пределах 1 339–2 511 особей, наиболее высокой она была в 2004 г. [13]. В лесоохотничьих хозяйствах (далее – ЛОХ) Брестской области в 2005–2019 гг. численность волков колебалась в пределах 26–71 особи, в отдельных ЛОХ (Кобринское, Брестское, Ивацевичское) в некоторые годы наличия волков не отмечалось. В большинстве случаев их численность колебалась в пределах 1–5 особей, чаще всего они встречались в Полесском ЛОХ (10–18 особей).

Методика и объекты исследования

Было проведено исследование 4 видов парнокопытных: лось (*Alces alces*), благородный олень (*Cervus elaphus*), косуля (*Capreolus capreolus*), кабан (*Sus scrofa*). Представлены многолетние (2005–2019 гг.) данные зимнего маршрутного учета (далее – ЗМУ) и добычи, предоставленные Брестским лесоохотничьим объединением, которые подверглись статистической обработке [14]. Применялись различные методы учета, основным из которых является зимний маршрутный учет [15]. Контроль за состоянием популяции парнокопытных и планирование их добычи осуществлялся на основе данных учетов численности видов. Учеты животных обычно проводились в конце осенне-зимнего охотничьего сезона под руководством охотоведов и под ответственность руководителей охотничьих организаций.

Результаты и их обсуждение

Лось (310 регистраций) является типичным обитателем леса, предпочитает леса, сочетающие заболоченные участки (22,6 %), вырубки (31,6 %) и молодые посадки (35,5 %). В зимний период обычно образует скопления в кормных местах. Социальная

Таблица. – Динамика численности, добычи и плотности охотничьих парнокопытных в лесоохотничьих хозяйствах Брестской области в 2005–2019 гг.

Лесоохотничье хозяйство	Вид	Оптимальная численность по проекту охотустройства	Численность		Добыча		Плотность	
			Lim	X ± Sx	Lim	X ± Sx	Lim	X ± Sx
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Барановичское	Лось	55	7–120	31,60 ± 10,48	0–0	0 ± 0	0,36–6,09	1,60 ± 0,53
	Олень благородный	98	55–210	111,67 ± 9,55	2–11	6,14 ± 1,34	2,79–10,66	5,67 ± 0,48
	Косуля европейская	210	95–630	260,33 ± 40,21	5–25	12,29 ± 2,41	4,52–30,0	12,40 ± 1,91
	Кабан	150	5–190	91,33 ± 20,50	13–60	35,00 ± 7,5	0,00–9,05	4,35 ± 0,98
Брестское	Лось	50	12–93	59,60 ± 6,54	0–3	1,71 ± 0,42	0,97–7,50	4,81 ± 0,53
	Олень благородный	87	4–150	68,80 ± 13,54	0–3	0,43 ± 0,43	0,32–12,10	5,55 ± 1,09
	Косуля европейская	351	87–410	265,07 ± 22,91	5–33	21,43 ± 3,87	7,02–33,06	21,38 ± 1,85
	Кабан	120	0–200	90,87 ± 21,38	4–45	24,14 ± 5,51	0,00–16,13	7,33 ± 1,72
Ганцевичское	Лось	90	26–150	74,93 ± 12,57	0–0	0 ± 0	0,90–5,64	2,82 ± 0,47
	Олень благородный	0	0–30	2,33 ± 2,00	0–0	0 ± 0	0,00–1,13	0,09 ± 0,008
	Косуля европейская	470	289–620	382,13 ± 31,40	19–32	25,71 ± 2,17	10,28–22,06	13,60 ± 1,12
	Кабан	170	0–170	80,67 ± 17,55	10–34	16,57 ± 3,05	0,00–6,05	2,87 ± 0,62
Ивацевичское	Лось	32	30–50	41,07 ± 1,53	0–4	1,83 ± 0,66	2,75–4,59	3,77 ± 0,14
	Олень благородный	60	85–245	138,07 ± 14,40	11–30	18,86 ± 3,10	7,80–22,48	12,67 ± 1,32
	Косуля европейская	70	70–135	95,80 ± 6,11	0–6	3,29 ± 0,71	6,42–12,39	8,79 ± 0,56
	Кабан	55	0–190	88,00 ± 18,76	7–70	37,14 ± 9,24	0,00–17,43	8,07 ± 1,72
Кобринское	Лось	58	35–85	62,87 ± 4,38	0–2	0,57 ± 0,37	1,47–3,57	2,64 ± 0,18
	Олень благородный	0	0–0	0 ± 0	0–0	0 ± 0	0–0	0 ± 0
	Косуля европейская	280	129–390	259,67 ± 22,39	10–20	15,00 ± 1,51	5,04–15,23	10,14 ± 0,87
	Кабан	115	0–219	104,73 ± 22,39	12–72	38,71 ± 9,74	0,04–8,55	4,09 ± 0,87
Лунинецкое	Лось	80	29–95	65,33 ± 6,90	0–0	0 ± 0	1,07–3,51	2,41 ± 0,25
	Олень благородный	0	0–0	0 ± 0	0–0	0 ± 0	0–0	0 ± 0
Лунинецкое	Косуля европейская	520	184–350	251,67 ± 15,56	7–15	12,43 ± 1,11	5,90–12,92	9,29 ± 0,57
	Кабан	170	0–315	129,4 7± 31,77	10–47	27,43 ± 5,95	0,0–11,62	5,10 ± 1,18

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ляховичское	Лось	80	0–60	30,30 ± 7,32	0–0	0±0	0,0–2,48	1,21 ± 0,29
	Олень благородный	0	0–3	0,30 ± 0,30	0–0	0±0	0–0	0,01 ± 0,01
	Косуля европейская	300	15–210	115,40 ± 23,33	0–6	1,29±0,89	0,6–8,4	4,62 ± 0,93
	Кабан	165	25–210	131,90 ± 24,45	0–67	32,00±10,36	1,0–8,4	5,28 ± 0,98
Пинское	Лось	20	5–35	22,53 ± 2,45	0–4	0,57±0,57	0,81–5,65	3,63 ± 0,40
	Олень благородный	0	0–48	7,33 ± 3,53	0–0	0±0	0,00–7,74	1,18 ± 0,57
	Косуля европейская	80	5–180	108,53 ± 12,43	0–20	11,57±3,22	0,74–26,47	15,96 ± 1,83
	Кабан	50	0–90	41,80 ± 9,36	0–44	22,29±6,18	0,00–13,24	6,47 ± 1,41
Полесское	Лось	140	5–110	76,60 ± 12,30	0–8	2,86±1,03	0,17–3,79	2,64 ± 0,42
	Олень благородный	0	0–0	0 ± 0	0–0	0±0	0–0	0 ± 0
	Косуля европейская	600	22–260	170,10 ± 26,34	0–13	6,14±1,83	0,76–8,97	5,87 ± 0,91
	Кабан	350	3–308	177,90 ± 35,70	0–36	15,29±5,37	0,1–10,62	6,13 ± 1,23
Пружанское	Лось	142	74–160	123,60 ± 6,51	0–3	1,00±0,49	1,22–2,64	2,04 ± 0,11
	Олень благородный	953	454–850	704,40 ± 33,64	31–105	62,57±12,21	6,35–11,89	9,85 ± 0,47
	Косуля европейская	1060	408–600	482,33 ± 20,62	8–30	21,14±2,61	4,82–8,82	6,64 ± 0,28
	Кабан	674	5–790	390,13 ± 82,95	116–500	329,86±61,56	0,07–11,05	5,77 ± 1,19
Столинское	Лось	70	45–85	61,93 ± 2,81	0–5	1,43±0,72	2,65–5,0	3,64 ± 0,17
	Олень благородный	0	0–0	0 ± 0	0–0	0±0	0–0	0 ± 0
	Косуля европейская	240	100–210	171,20 ± 7,89	0–30	15,86±3,78	5,88–12,35	10,07 ± 0,46
	Кабан	100	3–200	105,47 ± 21,62	0–85	45,71±11,51	0,0–11,76	6,60 ± 1,29
Телеханское	Лось	145	55–160	108,60 ± 7,61	0–3	0,71±0,42	1,29–3,76	2,55 ± 0,18
	Олень благородный	220	73–160	126,67 ± 7,06	1–2	1,14±0,14	1,71–3,76	2,97 ± 0,17
	Косуля европейская	750	250–600	457,20 ± 30,82	25–55	39,86±3,83	5,04–12,82	9,77 ± 0,66
	Кабан	310	5–500	228,87 ± 52,04	30–190	92,86±25,05	0,11–10,68	5,18 ± 1,13
Итого по лесоохотничьим хозяйствам	Лось	962	341–941	723,33 ± 53,14	0–32	10,43±4,06	1,20–4,46	2,94 ± 0,28
	Олень благородный	1418	671–1648	1159,47 ± 75,40	45–145	89,14±16,05	1,58–6,60	3,47 ± 0,42
	Косуля европейская	4931	1764–3705	2924,27 ± 153,03	88–263	186,00±24,34	5,24–17,30	11,27 ± 0,95
	Кабан	2429	19–3297	1557,87 ± 348,91	246–1204	717,00±133,12	0,05–10,92	5,17 ± 1,14

структура популяции лося состоит из 4 типов элементарных образований: семейное, материнско-семейное, семейно-стадное, самцовый клан [3].

Численность и добыча лося в Беларуси и регионе за последние 50 лет постепенно возрастала [3; 6–8] и к 2014 г. достигла 30 140 особей, было добыто 10,80 % [13]. Лось регистрировался в 2005–2019 гг. в процессе ЗМУ во всех 12 лесоохотничьих хозяйствах Брестской области. Наибольшая средняя численность и плотность в лесных угодьях отмечена в Пружанском ЛОХ – 123,6 ± 6,51 особей, ежегодно добывалось 1,0 ± 0,49 особей; затем идет Телеханское ЛОХ – 108,6 ± 7,61, изымалось 0,71 ± 0,42 особей.

Самая низкая численность и плотность характерна для Барановичского ЛОХ – 31,6 ± 10,48 особей, добывалось 1,6 ± 0,53 ос/тыс. га лесных угодий и Ляховичского ЛОХ – 30,3 ± 7,32 ос/тыс. га лесных угодий, изымалось 1,21 ± 0,29 особей. В некоторых ЛОХ (Барановичском, Ганцевичском, Лунинецком и др.) добыча лосей не проводилась (таблица).

В целом по ЛОХ средняя численность лося равна 723,33 ± 53,14 особей, с колебаниями в пределах 341–941 особей (рисунок 1). Относительная численность по проекту охотустройства значительно выше – 962 особи. Средняя плотность на 1 000 га лесных угодий составляла 2,94 ± 0,28 особей, с колебаниями в пределах 1,20–4,46 особей (рисунок 1). Добыча по годам варьировала в пределах 0–32 особи (рисунок 3), в среднем – 10,43 ± 4,06 (таблица).

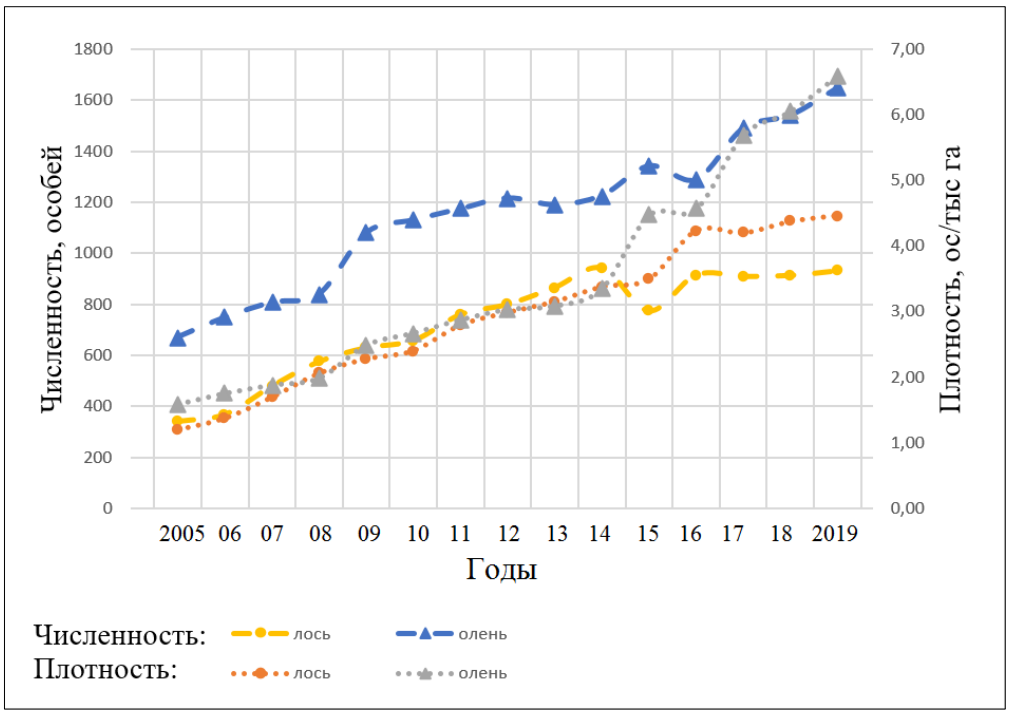


Рисунок 1. – Динамика численности и плотности лося и оленя благородного в лесоохотничьих хозяйствах Брестской области

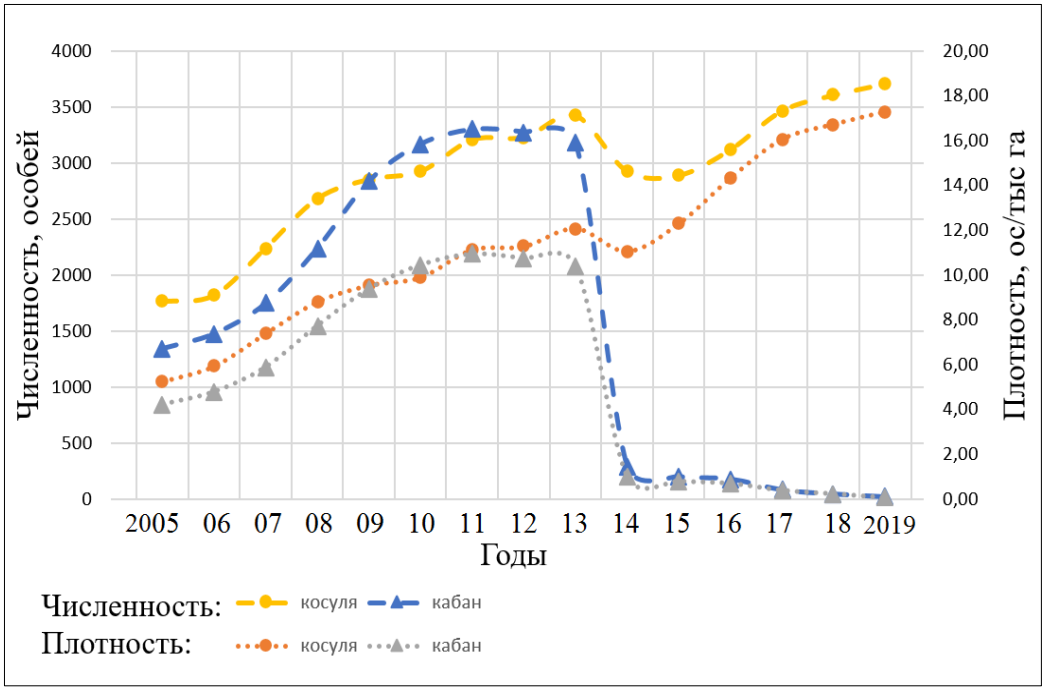


Рисунок 2. – Динамика численности и плотности кабана и косули европейской в лесоохотничьих хозяйствах Брестской области

Во многих ЛОХ численность зверей по данным ЗМУ ниже оптимальной численности по проекту охотустройства (Ганцевичское, Лунинецкое, Ляховичское и др.), в некоторых она выше (Брестское, Ивацевичское, Кобринское и др.) (таблица).

Олень благородный в условиях Беларуси и региона предпочитает смешанные и лиственные леса с развитым подлеском, наличием полян и зарастающих вырубок. Численность и добыча оленя в Брестской области нами прослежена с 1973 г. по настоящее время. Если в 1973 г. в регионе обитало 380 особей, то в 1998 г. – 694 особи [7].

В охотхозяйствах Беларуси за период с 1995 по 2002 г. поголовье оленя выросло с 4 226 до 4 590 особей, процент изъятия составлял 3,2–3,8 [6]. Позже, в 2005–2014 гг., численность постепенно увеличивалась и достигла в 2014 г. 13 624 особи, когда было добыто 8,43 % от числа учтенных [13]. Для социальной структуры популяции оленя характерно образование крупных стад из 8–20 и более особей.

Олень благородный отмечен в 8 из 12 ЛОХ. Самая высокая численность и плотность в Пружанском ЛОХ – 704,4 ± 33,64, лимиты 454–850 особей (рисунок 1). Плотность относительно высокая – 9,85 ± 0,47 особей. Добыча в среднем составляла 62,57 ± 12,21 особи. Несколько ниже численность оленя в Ивацевичском ЛОХ – 138,07 ± 14,4 особи, а плотность, наоборот, выше: она варьировала в пределах 7,8–22,48 и в среднем составляла 12,67 ± 1,32 ос/тыс. га. В ряде ЛОХ (Кобринское, Лунинецкое, Полесское и др.) он не отмечен на ЗМУ (таблица).

Численность оленя по годам колебалась во всех ЛОХ в пределах 671–1 648 (рисунок 1), в среднем она составляла 1 159,47 ± 75,4 особи. Численность по проекту охотустройства, как и у лося, выше – 1 418 особей (таблица). Средняя плотность на 1 000 га лесных угодий равна 3,47 ± 0,42, лимиты – 1,58–6,60 особей (рисунок 1). Она значительно выше в сравнении с 1990-ми гг. в районах Брестской области (0,64 особи [6]). Оленя добывали в среднем 89,14 ± 16,05 особей с колебаниями 45–145 (рисунок 3).

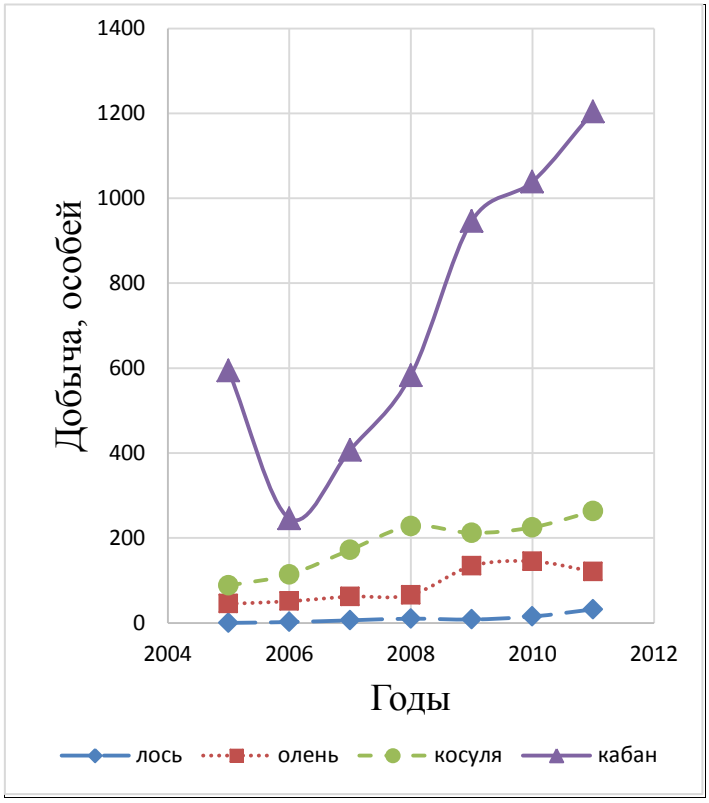


Рисунок 3. – Динамика добычи охотничьих видов копытных в лесоохотничьих хозяйствах Брестской области

По данным 220 встреч с косулей, в различные сезоны года, в том числе по следам деятельности, она предпочитает лиственные мелкоконтурные участки леса с хорошо развитым кустарниковым ярусом (68,2 %). Летом косули живут в основном поодиночке (80,4 %), зимой собираются в небольшие группы (3–5 особей).

Численность косули по учетным данным в охотничьих хозяйствах Беларуси 1995 г. составляла 33 358 особей, в последующие годы увеличивалась и в 2002 г. достигла 49 597 особей, процент добытых от числа учтенных в эти годы был соответственно 2,40 и 5,65 [6]. В конце XX – начале XXI столетия плотность в Брестской области составляла 4,4 ос/тыс. га лесных угодий. По расчетным данным В. Е. Тышкевича [2], она должна быть в Беларуси минимум 30–40 ос/тыс. га угодий. Динамика численности и добычи косули в 2005 – 2014 гг. в охотничьих угодьях Беларуси приведена в бюллетене [13].

Косуля европейская встречается во всех 12 лесоохотничьих хозяйствах Брестской области. Наиболее высокая численность и плотность характерна для Телеханского ЛОХ – 457,20 ± 30,82, лимиты – 250–600 особей; плотность составляет 9,77 ± 0,66, лимиты – 5,04 – 12,82 особи. Добывалось в среднем 39,86 ± 3,83 особи. Затем следует Ганцевичское ЛОХ, где численность составляет 382,13 ± 31,40, плотность на 1 000 га угодий в среднем равна 13,60 ± 1,12, с колебанием по годам в пределах 10,28–22,06 особей. Добывалось в среднем 25,7 ± 2,17 особей. В других ЛОХ численность была значительно меньше, но не опускалась ниже 95 особей (таблица). В целом в лесоохотничьих хозяйствах Брестской области численности и плотность косули увеличивалась, максимальные значения отмечены в последние годы (рисунок 2).

Численность косули варьировала в пределах 1 764–3 705 особей (рисунок 2), в среднем она была равна 2 924,27 ± 153,03 особи. Это значительно ниже относительной численности по проекту охотустройства. Средняя плотность у косули самая высокая

(11,27 ± 0,95) среди исследуемых копытных (таблица). Косуля добывалась ежегодно в этот период в пределах 88–263 особей (рисунок 3).

Кабан (280 регистраций) в регионе предпочитает широколиственные (32,1 %), смешанные (28,6 %) и еловые (21,4 %) леса. Ведет стадный образ жизни. Стада обычно состоят из 5–20 особей, основу которых образуют одна или несколько самок с выводком этого года и неполовозрелые особи. Старые самцы живут в одиночку. Из 280 встреч с кабаном, в т. ч. по следам их деятельности, в 14,3 % были одиночки, в 53,8 % случаев стада состояли из 5–12 особей и в 31,9 % из 13–22 особей.

Численность кабана в Брестской области в 1973–1998 гг. варьировала в пределах 2 081–4 600 особей, в среднем 3 299,3 ± 182,3 особей [7]. Плотность кабана в Брестской области составляет в среднем 3,25 ос/тыс. га лесных угодий [3]. В охотничьих хозяйствах Беларуси в 1995–2002 гг. поголовье и добыча кабана по учетным данным варьировала от 24 890 особей в 1995 г. до 35 011 особей в 2002 г., процент добычи числа учтенных соответственно составляет 6,1 и 12,0 [6].

В 2010–2013 гг. численность кабана в охотугодьях Беларуси прогрессивно увеличивалась от 69,1 тыс. особей в 2010 г. до 80,4 тыс. в 2013 г.; в 2014 г. произошел резкий спад, когда было отмечено 8,6 тыс. особей. В этот период добыча варьировала в пределах 25 949–48 074 особи [13].

Кабан отмечен во всех лесоохотничьих хозяйствах Брестской области. Численность самая высокая характерна для Пружанского ЛОХ – 390,13 ± 82,95 с колебаниями в пределах 5–790 особей. Плотность в этом хозяйстве составляла в среднем 5,47 ± 1,19, лимиты – 0,07–11,05 особей; добыча варьировала в пределах 116–560, в среднем 329,86 ± 61,56.

Средняя численность кабана составляла 1 557,8 ± 348,91 особей, с вариациями в пределах 19–3 297 особей (рисунок 2), что несколько ниже численности по проекту охотустройства. Плотность этого вида в среднем равна 5,17 ± 1,14, с колебаниями в пределах 0,05–10,95 особей на 1 000 га лесных угодий. Кабана добывали в пределах 246–1 254 (рисунок 3), в среднем 717 ± 133,12 особей. Наибольшая средняя плотность кабана по районам Брестской области в 1990-х гг. составляет 3,26 особей на 1 000 га лесных угодий [6]. Резкое снижение численности и плотности кабана отмечено с 2014 г. (рисунок 2).

Степень изученности экологии популяций охотничьих животных в Беларуси и регионе дает возможность перейти к управлению ими в охотхозяйствах по многим видам: лосю, оленю, косуле, кабану. Проблема управления популяциями охотничьими животными неоднократно рассматривалась в последнее десятилетие [8; 16–18].

А. Гуринович, анализируя проблемы управления охотничьими животными во многих странах Европы, показал, что управление ресурсами охотничьей фауны в Беларуси ведется на основании принципов, которые не имеют должного научного обоснования и противоречат современным достижениям популяционной экологии диких животных и лучшим практикам управления. Обосновывается необходимость перехода к адаптивному управлению ресурсами диких животных, обязательности встроенности научного сопровождения в повседневную практику адаптивного управления, предлагаются пути решения связанных с таким переходом организационных проблем [18].

Заключение

Охотничьими зверями лесоохотничьих хозяйств являются лось, олень благородный, косуля европейская и кабан. Динамика численности и плотности этих видов определяются множеством факторов, основными из которых являются погодные условия в зимний период, изъятие животных в процессе охоты и браконьерство. Динамика чис-

ленности у оленьих в последнее десятилетие демонстрирует положительный тренд. У кабана с 2014 г. отмечено резкое снижение численности и добычи.

Процент изъятия копытных в ЛОХ колеблется в значительных пределах и в среднем составляет: у *Alces alces* 10,43 ± 4,06, у *Cervus elaphus* – 89,14 ± 16,0, у *Capreolus capreolus* – 186 ± 24,34, у *Sus scrofa* 717,0 ± 133,12 особей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дежкин, В. В. Охотничье-промысловая териология / В. В. Дежкин, Т. В. Саблина // Териология в СССР. – М. : Наука, 1984. – С. 228–260.

2. Тышкевич, В. Е. Косуля (Capreolus capreolus L.) Беларуси (биологические основы охраны и использования ресурсов) : автореф. дис. … канд. биол. наук / В. Е. Тышкевич. – М., 2001. – 20 с.

3. Козло, П. Г. Морфофизиологические адаптации и структурно-функциональный анализ динамики популяций парнокопытных (Artiodactyla), проблемы их охраны и рационального использования в Беларуси : автореф. дис. … д-ра биол. наук : 03.00.16 ; 03.00.18 / П. Г. Козло. – Минск, 2001. – 69 с.

4. Шакун, В. В. Биолого-экологические особенности благородного оленя (Cervus elaphus Linnaeus, 1758), реакклиматизированного на территории Беларуси : автореф. дис. … канд. биол. наук : 03.02.14 / В. В. Шакун ; Науч.-практ. центр НАН Беларуси по биоресурсам. – Минск, 2011. – 24 с.

5. Козорез, А. И. Взаимосвязи качества лесных охотничьих угодий и численности оленьих (Cervidae) в условиях Беларуси : автореф. дис. … канд. с.-х. наук : 06.03.02 / А. И. Козорез ; Беларус. гос. технол. ун-т. – Минск, 2013. – 24 с.

6. Савицкий, Б. П. Млекопитающие Беларуси / Б. П. Савицкий, С. В. Кучмель, Л. Д. Бурко // Млекопитающие Беларуси. – Минск : Изд. центр БГУ, 2005. – 319 с.

7. Биология промыслово-охотничьих наземных позвоночных Брестской области / В. Е. Гайдук [и др.]. – Брест : БрГУ, 1999. – 134 с.

8. Гайдук, В. Е. Годовые и многолетние биоритмы млекопитающих Беларуси (на примере модельных охотничьих видов) : монография / В. Е. Гайдук ; Брест. гос. ун-т. – Брест : Изд-во БрГУ, 2005. – 192 с.

9. Гайдук, В. Е. Тренды численности и использование ресурсных видов охотничьих зверей Брестской области / В. Е. Гайдук // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця : зб. навук. пр. VIII Міжнар. навук. канф., Брэст, 12–14 верас. 2018 г. / Палес. аграр.-экал. ін-т ; рэдкал.: М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтернатива, 2018. – С. 196–198.

10. Сержанин, Ю. И. Географическое распространение и состояние естественных запасов охотничье-промысловых млекопитающих в Белорусской ССР / Ю. И. Сержанин. – Минск : Наука и техника, 1970. – 129 с.

11. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2004 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2005. – 285 с.

12. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2009 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2010. – 397 с.

13. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2014 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Минсктиппроект, 2015. – 324 с.

14. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Выш. шк., 1973. – 320 с.

15. Приклонский, С. Г. Зимний маршрутный учет охотничьих животных / С. Г. Приклонский // Тр. Окского гос. заповедника, 1973. – Вып. 9. – С. 35–62.

16. Романов, В. С. Охотоведение / В. С. Романов, П. Г. Козло, В. И. Падайга. – Минск : Тесей, 2005. – 448 с.

17. Глушков, В. М. Управление популяциями охотничьих животных / В. М. Глушков, Н. Н. Граков, И. С. Козловский. – Киров, 1999. – 211 с.

18. Гуринович, А. Проблемы управления ресурсами охотничьей фауны в Беларуси, пути их решения / А. Гуринович // Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси : сб. ст. XI зоол. Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к 10-летию основания ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», – Минск : Изд. А. Н. Вараксин, 2017. – С. 85–95.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 01.06.2020

УДК 633.111.1:581.143.6

С. М. Ленивко
канд. биол. наук, доц., доц. каф. зоологии и генетики
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
e-mail: zoology@brsu.brest.by

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ СТЕРОИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОРОСТКОВ В ЭМБРИОКУЛЬТУРЕ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ СОРТА «ВАСИЛИСА»*

Представлены экспериментальные данные по исследованию нового направления действия ряда брассиностероидов и стероидных гликозидов на индукцию морфогенетических процессов в эмбриокультуре Triticum aestivum L. сорта «Василиса» в условиях in vitro. Выявлена способность стероидных соединений к изменению частоты прорастания зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» на питательных средах, что представляется перспективным для регулирования этого процесса.

LENIVKO S. M.

THE EFFECTS OF VARIOUS CONCENTRATIONS OF STEROID COMPOUNDS ON THE FORMATION OF SEEDLINGS IN THE EMBRYO CULTURE OF SOFT WHEAT OF THE CULTIVAR «VASILISA»

The article presents experimental data on the study of a new direction of action of a number of brassinosteroids and steroid glycosides on the induction of morphogenetic processes in the embryo culture of Triticum aestivum L. of the Cultivar «Vasilisa» in vitro. The ability of steroid compounds to change the frequency germination of embryo of soft wheat of the Cultivar «Vasilisa» on nutrient media is revealed, which seems promising for regulating this process.

Введение

Метод эмбриокультуры – культивирование на питательных средах изолированных зародышей в условиях in vitro – успешно используется для регенерации растений селекционных линий и коммерческих сортов мягкой яровой и озимой пшеницы, для построения различных модельных систем, имитирующих природные стрессы на уровне растительных эксплантов, с целью отбора толерантных форм растений. Согласно представленным в литературе данным, соматические клетки развивающегося зародыша злаков дифференцируются достаточно рано, что сопровождается потерей их митотической активности и морфогенетической способности. Поэтому для индукции каллусогенеза и поддержания высокой скорости неорганизованного роста клеточных культур in vitro рекомендовано введение ауксинов в питательную среду [1].

Наиболее часто используют синтетический аналог индолил-3-уксусной кислоты – 2,4-дихлорфеноксиуксусную кислоту (2,4-Д). Ауксин 2,4-Д был определен лучшим гормоном для индукции и формирования морфогенного каллуса у мягкой пшеницы. Он усваивается медленнее, чем индолил-3-уксусная или α-нафтил-уксусная кислоты, поэтому является более активным для поддержания морфогенетического состояния. Рекомендуемыми концентрациями 2,4-Д являются от 1,0 до 3,0 мг/л [2]. В работе Н. Н. Кругловой и А. А. Катасоновой [3] показано, что культивирование незрелых зародышей мягкой пшеницы сорта «Симбирка» на питательной среде без 2,4–Д приводило к их дегенерации,

**Работа выполнена в рамках НИР «Оценка морфофизиологической и генетической активности брассиностероидов и стероидных гликозидов для расширения спектра действия биорегуляторов растений стероидной природы» № ГР 20160577 от 01.04.2016 г. по заданию 3.15 ГПНИ «Химический синтез и продукты» (2016–2020 гг.).*

а зрелые зародыши через 10–12 суток культивирования формировали неморфогенный каллус либо давали начало проросткам. При этом было отмечено, что концентрация 2,4-Д играет определенную роль в формировании морфогенного каллуса, хотя и не главенствующую. В связи с большой практической значимостью метода эмбриокультуры для развития селекционного процесса у злаковых культур актуальным остается совершенствование системы культивирования in vitro эксплантов, обладающих высоким морфогенным потенциалом. Цель исследования – сравнительный анализ влияния диапазона концентраций (10^{-6}, 10^{-7}, 10^{-8}, 10^{-9} %) ряда брассиностероидов (БС) и стероидных гликозидов (СГ) в составе двух типов питательных сред (на фоне 2,4-Д и без добавления 2,4 Д) на частоту формирования проростков у зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса».

Материал и методы

В качестве объекта исследования выбран районированный в Республике Беларусь сорт мягкой пшеницы «Василиса» (*Triticum aestivum* L.), включенный в Государственный реестр Республики Беларусь в 2010 г. [4]. Сорт «Василиса» белорусской селекции с яровым типом развития является среднеспелым сортом, характеризуется слабой восприимчивостью к грибным болезням, устойчивостью к полеганию, обладает высокими хлебопекарными качествами [5]. Все это обусловливает возможность использования его в качестве объекта исследования.

Культивирование изолированных зародышей проводили на модифицированных питательных средах, приготовленных по прописи T. Murashige и F. Skoog (MS), с добавлением БС (эпибрассинолида – ЭБ, гомобрассинолида – ГБ, эпикастастерона – ЭК) и СГ (мелонгазида – МЗ, никотианозида – НЗ, рустикозида – РЗ) в определенной концентрации (10^{-6}, 10^{-7}, 10^{-8}, 10^{-9} %) на фоне 2,4-Д в концентрации 2,0 мг/л и без добавления 2,4 Д. Контролем служили два типа питательных сред без добавления стероидных соединений: MS + 2,4-Д и MS без 2,4-Д.

Два лабораторных эксперимента включали следующие варианты опыта:

1) MS + 2,4-Д (контроль);
2) MS + 2,4-Д + ЭБ;
3) MS + 2,4-Д + ГБ;
4) MS + 2,4-Д + ЭК;
5) MS + 2,4-Д + МЗ;
6) MS + 2,4-Д + НЗ;
7) MS + 2,4-Д + РЗ.

1) MS без 2,4-Д (контроль);
2) MS без 2,4-Д + ЭБ;
3) MS без 2,4-Д + ГБ;
4) MS без 2,4-Д + ЭК;
5) MS без 2,4-Д + МЗ;
6) MS без 2,4-Д + НЗ;
7) MS без 2,4-Д + РЗ.

Зародыши размером 1,5–2,0 мм выделяли на 15–16 сутки после опыления из предварительно простерилизованных 30 %-м раствором NaClO, а затем трехкратно промытых автоклавированной дистиллированной водой незрелых зерновок. Изолированные зародыши в каждом варианте опыта пассировали щитком вниз на питательную среду в асептических условиях ламинар-бокса LOGIC. Для получения сопоставимых данных эксперимент выполнялся по разработанному подходу, согласно которому одновременно на питательную среду эксплантировались зародыши как в контроле, так и вариантах эксперимента по одному из стероидных соединений. Культивирование проводили в термостате ТС-1/80 при +26 ^{0}С в темноте. В каждом варианте опыта было заложено по 6 повторностей и эксплантировано от 30 до 60 зародышей мягкой пшеницы. Влияние различных концентраций БС и СГ на частоту прорастания зародышей сорта мягкой пшеницы «Василиса» оценивали на 7-е сутки культивирования.

Статистическую обработку полученных результатов проводили согласно методам биологической статистики [6] с использованием программы Excel. Достоверность значимости различий между данными варианта опыта и контроля определяли по t-критерию Стьюдента. Дисперсионный анализ применяли для комплексной оценки полученных

средних значений по вариантам опыта, установления значимости и доли влияния факторов на их изменчивость.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные на 7-е сутки эксперимента результаты показали, что в контроле зародыши мягкой пшеницы сорта «Василиса», культивируемые в условиях in vitro на питательной среде MS + 2,4-Д, прорастали в среднем с частотой 59 %, а на MS без 2,4-Д – 55 %. Добавление в питательную среду, содержащую 2,4-Д, различных концентраций БС сказалось на изменении исследуемого показателя (рисунок 1).

ЭБ во всех исследуемых концентрациях на фоне 2,4-Д снижал частоту прорастания зародышей, причем с каждым последующим десятикратным разбавлением наблюдалось уменьшение прорастания от 6,8 до 16,1 % соответственно. Сходное проявление действия ЭБ отмечено и на питательной среде без добавления 2,4-Д, однако снижение прорастания зародышей сорта «Василиса» было менее значительным (от 3,3 до 13,3 %).

ГБ в концентрациях 10^{-6} и 10^{-7} % на фоне 2,4-Д повышал частоту прорастания зародышей на 8,0 и 5,2 % соответственно. Последующее десятикратное разбавление ГБ приводило к снижению частоты прорастания зародышей на 4,3 и 14,8 % в ряду концентраций 10^{-8} и 10^{-9} %. ЭК на фоне 2,4-Д снижал частоту прорастания зародышей сорта «Василиса» на 13,4 % по сравнению с контролем только в концентрации 10^{-9} %. Остальные исследуемые концентрации ЭК (10^{-6}, 10^{-7} и 10^{-8} %) приводили к увеличению частоты прорастания зародышей мягкой пшеницы, причем наибольшее превышение данных контроля (на 11,0 %) было отмечено под влиянием самой высокой концентрации. В семи вариантах эксперимента с использованием питательной среды MS без 2,4-Д при добавлении ГБ и ЭК в диапазоне концентраций (10^{-6}, 10^{-7}, 10^{-8}, 10^{-9} %) наблюдалось уменьшение частоты прорастания зародышей. Наиболее значительное достоверное снижение частоты прорастания на 18,4 % отмечено под влиянием 10^{-9} % ЭК.

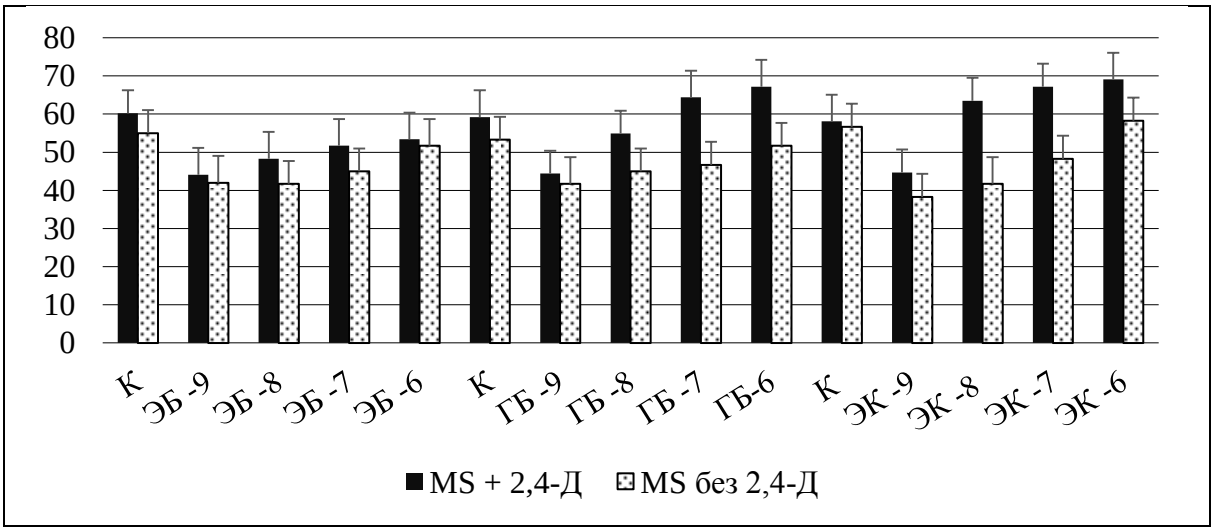


Рисунок 1. – Влияние БС на частоту прорастания зародышей сорта «Василиса» мягкой пшеницы, %

Сравнительный анализ данных экспериментов по исследованию влияния различных концентраций БС на индукцию морфогенетических процессов у зародышей пшеницы сорта «Василиса» на гормональной (с добавлением 2,0 мг/л 2,4–Д) и безгормональной (без добавления 2,0 мг/л 2,4–Д) питательной среде MS в условиях in vitro показал, что из двенадцати вариантов эксперимента в восьми вариантах наблюдался сходный эффект, и только в четырех вариантах – противоположное действие. Причем

малые концентрации всех испытанных БС на двух типах питательных сред проявили снижение частоты формирования проростков у зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса». Однонаправленные ответные реакции зародыши пшеницы сорта «Василиса» продемонстрировали на действие всех концентраций ЭБ на двух типах питательных сред.

Для статистического выяснения закономерностей изменчивости частоты прорастания зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» в системе «концентрация исследованных БС – тип питательной среды» был проведен двухфакторный дисперсионный анализ, результаты которого представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Двухфакторный дисперсионный анализ изменчивости частоты прорастания зародышей сорта мягкой пшеницы «Василиса» в зависимости от концентрации БС и присутствия 2,4–Д в питательной среде MS

Источник вариации	SS	df	MS	F	F_{05}	Доля влияния фактора, %
Концентрация	1 129,36	11	102,67	4,27	2,82	56,42
Тип питательной среды	608,03	1	608,03	25,31	4,84	30,38
Случайные отклонения	264,29	11	24,03			13,20
Общее	2 001,68	23				

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ показал достоверность различий по влиянию на частоту формирования проростков у зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» варианта эксперимента (концентрации испытанных БС) с вероятностью $P \leq 0{,}01$. Достоверным оказалось и влияние двух типов питательных сред MS (гормональной и безгормональной). Оценка относительной роли концентрации испытанных БС и типа питательной среды в изменчивости параметра «частота побегообразования» в культуре зародышей пшеницы сорта «Василиса» показала, что в большей степени она зависит от концентрации и вида БС, доля влияния которых в варьировании данного показателя составила 56,42 %. Доля влияния типа питательной среды составила 30,38 %.

Полученные на 7-е сутки эксперимента результаты показали, что добавление в питательную среду, содержащую 2,4-Д, различных концентраций СГ сказалось на изменении исследуемого показателя следующим образом (рисунок 2).

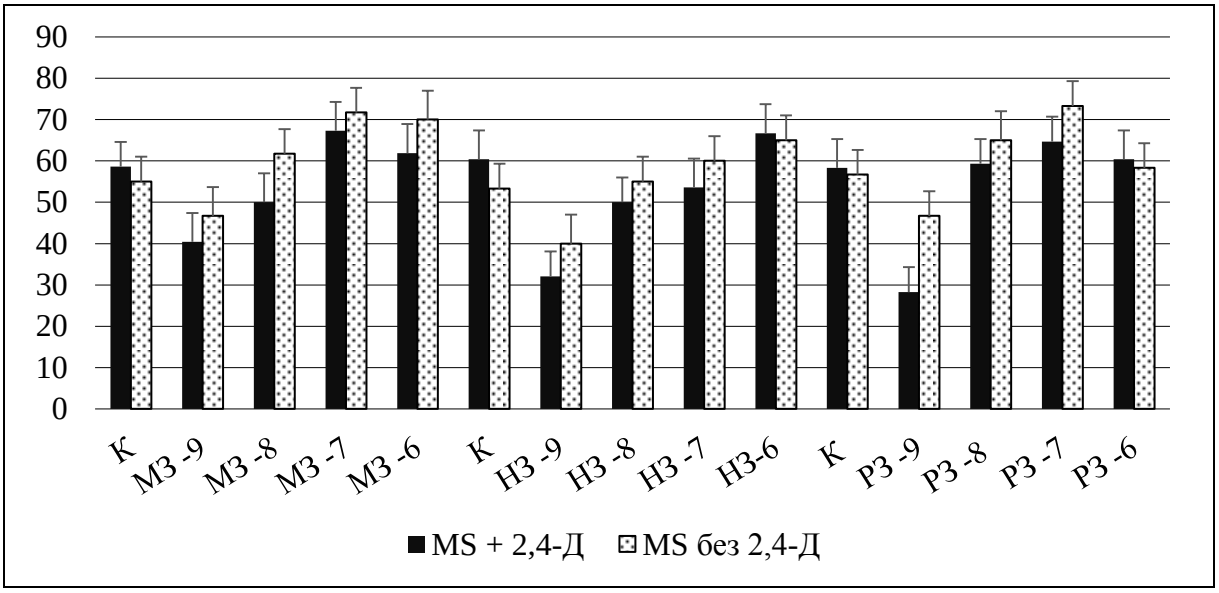


Рисунок 2. – Влияние СГ на частоту прорастания зародышей сорта мягкой пшеницы «Василиса», %

МЗ в концентрациях 10^{-6} и 10^{-7} % повышал частоту прорастания зародышей на 3,3 и 8,7 % соответственно. Уменьшение концентрации МЗ сказалось на снижении частоты прорастания зародышей, в частности, концентрация 10^{-8} % уменьшала на 8,6 %, а концентрация 10^{-9} % понижала на 18,2 % прорастание зародышей сорта «Василиса».

НЗ в концентрации 10^{-6} % повышал частоту прорастания зародышей на 6,3 %. Последующее десятикратное разбавление НЗ приводило к снижению частоты прорастания зародышей в ряду концентраций 10^{-7}, 10^{-8} и 10^{-9} % на 6,8, 10,4 и 24,6 %, причем полученные данные по влиянию самой малой концентрации оказались достоверными. РЗ в концентрации 10^{-9} % также статистически достоверно уменьшал частоту формирования проростков у зародышей сорта «Василиса» на 30,0 %, в остальных исследованных концентрациях показано незначительное увеличение прорастания зародышей.

При культивировании зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» на безгормональной питательной среде MS с добавлением МЗ частота прорастания в диапазоне концентраций от 10^{-6} до 10^{-8} % оказалась выше, чем в контроле. При этом, как и на питательной среде MS + 2,4-Д, наибольший эффект наблюдался под влиянием концентрации 10^{-7} % – превышение по отношению к контролю составило 16,7 %. Напротив, 10^{-8} % концентрация МЗ на фоне 2,4-Д проявила ингибирование роста проростков, а на безгормональной среде стимулировала прорастание зародышей на 6,7 % по сравнению с данными контроля. МЗ в концентрации 10^{-9} % проявил ингибирование, выраженное в сдерживании прорастания зародышей пшеницы сорта «Василиса» на 8,3 % по сравнению с контролем на питательной среде MS без 2,4-Д. Добавление в безгормональную питательную среду MS различных концентраций НЗ повлияло на изменение исследуемого показателя следующим образом. В концентрации 10^{-6} % наблюдалось стимулирование прорастания зародышей на 11,7 %, а в концентрации 10^{-9} % наблюдалось ингибирование формирования проростков у зародышей сорта «Василиса» на 13,3 %. Так, самая высокая и самая низкая из исследованных концентраций НЗ продемонстрировали сходный эффект на двух типах питательных сред. Концентрации 10^{-7} и 10^{-8} % НЗ на безгормональной питательной среде проявили противоположный эффект, а именно стимулировали прорастание зародышей на 6,7 и 1,7 % по сравнению с контролем. На введение в безгормональную питательную среду MS различных концентраций РЗ зародыши пшеницы сорта «Василиса» показали сходную с вариантами эксперимента по культивированию на фоне гормона 2,4-Д ответную реакцию. Так, только в самой малой исследуемой концентрации 10^{-9} % РЗ уменьшал частоту формирования проростков у зародышей сорта «Василиса» на 10,0 %. В вариантах эксперимента с десятикратным повышением концентрации РЗ (10^{-8}, 10^{-7} %) наблюдалось увеличение прорастания зародышей на 8,3 и 16,6 % соответственно. В вариантах эксперимента с использованием РЗ в концентрации 10^{-6} % зарегистрировано незначительное увеличение прорастания зародышей сорта «Василиса» на 1,6 % по сравнению с контролем.

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа изменчивости частоты прорастания зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» в системе «концентрация исследованных СГ – тип питательной среды» представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Двухфакторный дисперсионный анализ изменчивости частоты прорастания зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» в зависимости от концентрации СГ и присутствия 2,4-Д в питательной среде MS

Источник вариации	SS	df	MS	F	F_{05}	Доля влияния фактора, %
Концентрация	3008,27	11	273,48	18,45	2,82	87,72
Тип питательной среды	258,07	1	258,07	17,41	4,84	7,53
Случайные отклонения	163,04	11	14,28			4,75
Общее	3429,39	23				

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ показал достоверность различий по влиянию на частоту формирования проростков у зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» концентрации стероидных гликозидов с вероятностью $P \leq 0{,}001$ и достоверность различий на изменение исследуемого показателя в зависимости от наличия в питательной среде гормона 2,4-Д с вероятностью $P \leq 0{,}05$. Доля влияния фактора «концентрация испытанного СГ» в изменчивости исследованного показателя составила 87,72 %. Доля влияния фактора «тип питательной среды» составила 7,53 %. В связи с этим можно отметить, что присутствие в питательной среде MS гормона 2,4-Д оказывает определенное влияние на процесс формирования проростков у зародышей, хотя и не основное.

Для статистического выяснения зависимости изменчивости частоты прорастания зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» в системе «концентрация – тип стероидного соединения» на питательных средах MS, дополненных 2,4-Д (таблица 3), и без 2,4-Д (таблица 4) был проведен двухфакторный дисперсионный анализ, результаты которого представлены в таблицах 5 и 6.

Таблица 3. – Сравнение влияния стероидных соединений на частоту прорастания зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» на питательной среде MS с 2,4-Д, %

Параметры сравнения	Концентрация			
Стероидное соединение	10^{-9} %	10^{-8} %	10^{-7} %	10^{-6} %
ЭБ	44,1 ± 6,5	48,3 ± 6,5	51,7 ± 6,5	53,4 ± 6,5
ГБ	44,4 ± 7,4	54,9 ± 7,0	64,4 ± 6,2	67,2 ± 6,2
ЭК	44,7 ± 8,1	63,5 ± 6,7	67,2 ± 6,2	69,1 ± 6,2
МЗ	40,4 ± 6,8	50,0 ± 6,6	67,3 ± 6,3	61,9 ± 7,5
НЗ	32,1 ± 6,6	50,0 ± 7,1	53,6 ± 6,7	66,7 ± 6,6
РЗ	28,3 ± 5,8	59,3 ± 6,4	64,7 ± 6,7	60,4 ± 7,1
Контроль	59,1 ± 6,6			

Таблица 4. – Сравнение влияния стероидных соединений на частоту прорастания зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» на питательной среде MS без 2,4-Д, %

Параметры сравнения	Концентрация			
Стероидное соединение	10^{-9} %	10^{-8} %	10^{-7} %	10^{-6} %
ЭБ	42,0 ± 7,0	41,7 ± 6,4	45,0 ± 6,4	51,7 ± 6,6
ГБ	41,7 ± 6,4	45,0 ± 6,4	46,7 ± 6,4	51,7 ± 6,5
ЭК	38,3 ± 6,3	41,7 ± 6,4	48,3 ± 6,5	58,3 ± 6,4
МЗ	46,7 ± 7,0	61,7 ± 6,4	71,7 ± 6,4	70,0 ± 6,6
НЗ	40,0 ± 6,4	55,0 ± 6,5	60,0 ± 6,4	65,0 ± 6,4
РЗ	46,7 ± 6,4	65,0 ± 6,4	73,3 ± 6,5	58,3 ± 6,3
Контроль	55,0 ± 6,4			

Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ показал высокую достоверность различий с вероятностью $P \leq 0{,}001$ по влиянию на частоту формирования проростков у зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» концентраций исследованных стероидных соединений в питательных средах MS как на фоне 2,4-Д, так и без 2,4-Д.

Таблица 5. – Двухфакторный дисперсионный анализ изменчивости частоты прорастания зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» в зависимости от концентрации и типа стероидного соединения в питательной среде MS на фоне 2,4-Д

Источник вариации	SS	df	MS	F	F_{05}	Доля влияния фактора, %
Стероидное соединение	390,72	5	78,14	2,57	2,90	12,91
Концентрация	2179,74	3	726,58	23,91	3,29	72,03
Случайные отклонения	455,79	15	30,39			15,06
Общее	3023,25	23				

Таблица 6. – Двухфакторный дисперсионный анализ изменчивости частоты прорастания зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» в зависимости от концентрации и типа стероидного соединения в питательной среде MS без 2,4-Д

Источник вариации	SS	df	MS	F	F_{05}	Доля влияния фактора, %
Стероидное соединение	1213,90	5	242,78	7,95	2,90	45,23
Концентрация	1011,44	3	337,14	11,04	3,29	37,69
Случайные отклонения	458,26	15	30,55			17,08
Общее	2683,59	23				

Доля влияния фактора «концентрация» в изменчивости исследованного показателя на среде MS с 2,4-Д составила 72,03 %, на среде MS без 2,4-Д – 37,69 %. Оценка относительной роли величины концентраций позволила установить эффективность самой малой (10^{-9} %) концентрации, в которой все испытанные стероидные соединения подавляли нежелательное преждевременное прорастание культивируемых зародышей пшеницы сорта «Василиса» на питательных средах MS как на фоне 2,4-Д, так и без 2,4-Д. Выявленный положительный эффект снижался с повышением концентрации, при этом уменьшалось число стероидных соединений, подавляющих прорастание зародышей. Так, на среде MS с 2,4-Д в концентрации 10^{-8} % четыре (ЭБ, ГБ, МЗ, НЗ) из шести стероидных гликозидов продемонстрировали возможность уменьшать частоту прорастания зародышей. В концентрации 10^{-7} % только два (ЭБ и НЗ) стероидных гликозида, а в концентрации 10^{-6} % только ЭБ сохранили способность к снижению частоты прорастания зародышей. На среде MS без 2,4-Д в концентрациях 10^{-8} и 10^{-7} % три (ЭБ, ГБ, ЭК) из шести стероидных гликозидов оказались способными уменьшать частоту прорастания зародышей, а в концентрации 10^{-6} % только два (ЭБ и ГБ) сохранили способность к снижению частоты прорастания зародышей.

Заключение

Сравнительный анализ данных экспериментов по исследованию влияния различных концентраций СГ на индукцию морфогенетических процессов у зародышей пшеницы сорта «Василиса» на гормональной (с добавлением 2,4-Д в концентрации 2,0 мг/л) и безгормональной (без добавления 2,4-Д) питательной среде MS в условиях in vitro показал, что из двенадцати вариантов эксперимента в девяти вариантах наблюдался сходный эффект, и только в трех вариантах – противоположное действие. Причем малые концентрации всех испытанных СГ на двух типах питательных сред проявили снижение частоты формирования проростков у зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса». Однонаправленные ответные реакции зародыши пшеницы сорта «Василиса» продемонстрировали на действие большинства исследованных концентраций РЗ и МЗ. Таким образом, выявлено новое направление действия ряда БС и СГ, связанное с их способностью изменять частоту прорастания зародышей мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L.

Проведенное обобщение полученных результатов по оценке частоты прорастания зародышей мягкой пшеницы сорта «Василиса» на питательных средах с различным

содержанием БС и СГ позволило рекомендовать малую концентрацию 10^{-9} % как эффективную в отношении подавления формирования проростков в эмбриокультуре мягкой пшеницы на примере сорта «Василиса». Также при использовании питательной среды MS без 2,4-Д целесообразно учитывать тип стероидного соединения. В частности, обнаружено, что БС по сравнению со СГ в более широком диапазоне концентраций проявляют желаемый эффект при регулировании процесса прорастания зародышей в культуре in vitro.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин, Ф. Л. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений / Ф. Л. Калинин, В. В. Сарнацкая, В. Е. Полещук. – Киев : Наук. думка, 1980. – 488 с.

2. Авксентьева, О. А. Роль генотипа, состава среды и типа экспланта в формировании первичного каллюса изогенных линий пшеницы / О. А. Авксентьева, В. А. Петренко // Вісн. Харків. нац. ун-ту ім. В. Н. Каразіна. Сер. «Біологія». – 2009. – Вип. 9. – С. 56–62.

3. Круглова, Н. Н. Незрелый зародыш пшеницы как морфогенетически компетентный эксплант / Н. Н. Круглова, А. А. Катасонова // Физиология и биохимия культурных растений. – 2009. – Т. 41, № 2. – С. 124–131.

4. Государственный реестр сортов и древесно-кустарниковых пород [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sorttest.by/gosudarstvennyy-reyestr-sortov-2017-1.

5. Описание сортов растений. Зерновые. Пшеница мягкая яровая [Электронный ресурс] / ГУ «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений». – Минск, 2011. – Режим доступа: http://sorttest.by/f/pshenica-myagkaya-yarovaya.pdf.

6. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – 3-е изд., испр. – Минск : Выш. шк., 1973. – 320 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 23.06.2020

УДК 582.261.1:574.632

Н. М. Матусевич
канд. биол. наук, доц., доц. каф. ботаники и экологии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
e-mail: NMMatusevich@yandex.ru

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ БОЛЬШИЕ И МАЛЫЕ СОИ МЕТОДОМ АЛЬГОИНДИКАЦИИ

Изучен состав альгофлоры водохранилищ Большие и Малые Сои и установлено, что она представлена 16 родами водорослей, которые принадлежат 4 отделам, 6 классам, 7 порядкам, 11 семействам. Лидирующее положение занимают диатомовые водоросли (70,59 % от общего числа выявленных представителей), суммарное родовое разнообразие отделов Cyanophyta, Chlorophyta и Xanthophyta составило 29,41 % общего состава альгофлоры. Проведены необходимые математические расчеты, на основании которых установлено, что данные водохранилища принадлежат к β-мезосапробному водоему с показателями умеренного, естественного загрязнения (индекс сапробности = 1,895).

MATUSEVICH N. M.

ASSESSMENT OF THE STATE OF RESERVOIRS BIG AND SMALL SOI BY THE METHOD OF ALGOINDICATION

The composition of the algal flora of the reservoirs Big and Small Soi was studied and it was found that it is represented by 16 genera of algae, which belong to 4 divisions, 6 classes, 7 orders, 11 families. The leading position is occupied by diatoms (70.59 % of the total number of identified representatives), the total generic diversity of the divisions Cyanophyta, Chlorophyta, and Xanthophyta was 29.41 % of the total composition of the algal flora. The necessary mathematical calculations were carried out, on the basis of which it was established that these reservoirs belong to a β-mesosaprobic reservoir with indicators of moderate, natural pollution (saprobity index = 1.895).

Введение

Природные водоемы постоянно испытывают огромную антропогенную нагрузку при загрязнении промышленными, коммунально-бытовыми, сельскохозяйственными и ливневыми стоками из населенных мест.

Биоиндикация качества воды в водоемах проводится по видовому разнообразию и обилию водорослей [1]. Определение разнообразия водорослей позволяет установить экологическое состояние водоема, степень и тип загрязнения и пути его распространения в водной среде. Загрязнение органическими веществами выражается в смене видового состава и изменении соотношения различных экологических групп водорослей [2]. Экологическая оценка степени загрязненности водоемов основана на учете количества присутствующего в воде органического вещества в разных его формах.

Сапробность – биологическое состояние водоема, определяемое концентрацией органических веществ и интенсивностью процессов их разложения [3; 4].

Водоросли как биоиндикаторы имеют ряд преимуществ:

1) относительно легко идентифицируются до вида;

2) быстро реагируют на изменение условий;

3) их фототрофы сходны с высшими растениями по реакции на состояние воды;

4) культивирование отличается простотой.

Для оценки уровня загрязнения водных объектов органическим веществом создана система сапробности, позволяющая разделить водные объекты и их отдельные участки на зоны (ксено-, олиго-, α-мезо, β-мезо и полисапробную). Понятие сапробности приближается к значению эвтрофикации, т. к. включает трофическую характеристику, а с другой стороны, сапробность близка к токсичности или загрязненности и ха-

рактеризует действие в среде отрицательных факторов (дефицит или отсутствие кислорода, продукты разложения органики и т. д.) [4].

Для полной биологической диагностики водоема должны быть учтены все сообщества: перифитон, бентос, планктон, плейстон, нектон. Зоны сапробности выделяют по различной степени разложения органического вещества. От чистого водоема к загрязненному увеличивается индекс сапробности водоема: ксеносапробные – 0–0,05 → олигосапробные – 0,51–1,50 → бета-мезосапробные – 1,51–2,50 → альфа-мезосапробные – 2,51–3,50 → полисапробные – 3,51–4,0 [5].

Таким образом, от состава индикаторных форм и степени их количественного развития водорослей зависит качество и биологическая продуктивность воды в водоемах, как естественных, так и искусственно созданных. Водоросли используются при мониторинге состояния качества воды, особенно за уровнем загрязнения водоемов различными химическими веществами. Наблюдение качества водоемов является приоритетным для обеспечения возможности интегральной оценки состояния водной среды, подвергающейся влиянию антропогенных факторов. Оно позволяет получить объективные экологические показатели, которые помогают составить прогноз долгосрочных изменений в водных экосистемах [6].

Водохранилища Большие и Малые Сои являются ландшафтообразующими и экологическими объектами г. Бреста. На сегодняшний день оценка состояния данной водной экосистемы имеет большое значение с научной и практической точки зрения. Использование методов альгоиндикации как части биомониторинга позволяет оценить качество водной среды, возможную степень и характер ее загрязнения. Целью нашей работы было установление таксономического состава альгофлоры и состояния водохранилищ Большие и Малые Сои.

Материала и методы исследования

В работе использованы результаты исследований, которые проводились в период с мая 2019 по май 2020 г. Объектами исследования явились представители альгофлоры водохранилищ Большие и Малые Сои. Отбор проб осуществлялся в поверхностных слоях воды, в толще, на дне, в обрастаниях погруженных в воду сооружений, на высших прибрежных и водных растениях по общепринятым методам сбора [7].

Для определения систематического состава водорослей были использованы соответствующие определители и справочники [8; 9]. Сводный список водорослей составляли в соответствии с «Таксономическим каталогом» Т. М. Михеевой [10].

Сапробиологическая оценка водорослей дана по работам А. М. Макрушина, А. П. Садчикова и др. [11; 12]. Экологический анализ альгофлоры проводили с использованием данных С. С. Бариновой [6].

Сапробность водохранилища Большие и Малые Сои устанавливалась с учетом частоты встречаемости индикатора по 9-балльной шкале и индекса сапробности индикатора по формуле Пантле – Букка в модификации Сладечека [5]:

$$S=\frac{\sum(sh)}{\sum(h)},$$

где S – сапробность водоема, s – индекс сапробности индикатора, h – численность индикатора или частота встречаемости (определялась по следующей шкале в поле зрения микроскопа): 9 – очень часто (особей много); 7 – часто; 5 – нередко, но не во всех полях зрения микроскопа; 3 – редко, в немногих полях зрения; 2 – очень редко (единичны); 1 – единично (единичные представители в пробе).

Индекс сапробности указывают с точностью до 0,01.

Для ксеносапробной зоны он находится в пределах 0–0,50; олигосапробной – 0,51–1,50; β-мезосапробной – 1,51–2,50; α-мезосапробной – 2,51–3,50; полисапробной – 3,51–4,00.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате отбора проб, их обработки и анализа альгофлоры водохранилищ Большие и Малые Сои было определено 16 родов водорослей, которые принадлежат к 4 отделам, 6 классам, 7 порядкам, 11 семействам (таблица 1).

Таблица 1. – Таксономический состав альгофлоры водохранилищ Большие и Малые Сои

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род
Cyanophyta	*Chroococcophyceae*	*Chroococcales*	*Microcystidaceae* Elenk.	*Microcystis* (Kütz.) Elenk.
	Hormogoniophyceae	*Oscillatoriales*	*Oscillatoriaceae* (Kirchn.) Elenk. s. strict.	*Oscillatoria* Vauch.
Chlorophyta	*Siphonocladophyceae*	*Cladophorales*	*Cladophoraceae* (Hass.) Cohn	*Cladophora* Kütz.
	Conjugatophyceae	*Zygnematales*	*Zygnemaceae* Kütz.	*Spirogyra* Link.
Bacillariophyta	*Pennatophyceae*	*Araphales*	*Fragilariaceae* (Kütz.) D. T.	*Asterionella* Hassal
				Fragilaria Lyngb.
				Synedra Ehr.
		Raphales	*Nitzschiaceae* Grun.	*Nitzschia* Hass.
				Bacillaria Gmelin
			Naviculaceae Kütz.	*Navicula* Bory
				Pinnularia Ehr.
			Stauroneidaceae D. C. Mann	*Craticula* Grunow
			Cymbellaceae (Kütz.) Grun.	*Cymbella* Ag.
				Encyonema Kütz.
			Gomphonemataceae (Kütz.) Grun.	*Gomphonema* Ehr.
Xanthophyta	*Xanthophyceae*	*Heterococ-cales*	*Sciadiaceae* Pascher	*Centritractus* Lemm.

Наиболее многочисленным в родовом плане является класс *Pennatophyceae* – 11 родов, которые принадлежат 6 семействам и 2 порядкам.

Значительно менее многочисленными являются классы *Chroococcophyceae* – 1 род (принадлежит 1 семейству, 1 порядку); *Hormogoniophyceae* – 1 род (принадлежит 1 семейству, 1 порядку); *Siphonocladophyceae* – 1 род (принадлежит 1 семейству, 1 порядку); *Conjugatophyceae* – 1 род (принадлежит 1 семейству, 1 порядку) и *Xanthophyceae* – 1 род (принадлежит 1 семейству, 1 порядку) (таблица 2).

Таблица 2. – Количественный состав альгофлоры водохранилищ Большие и Малые Сои

Отдел	Класс	Количество		
		порядок	семейство	род
Cyanophyta	*Chroococcophycea*	1	1	1
	Hormogoniophyceae	1	1	1
Chlorophyta	*Siphonocladophyceae*	1	1	1
	Conjugatophyceae	1	1	1
Bacillariophyta	*Pennatophyceae*	2	6	11
Xanthophyta	*Xanthophyceae*	1	1	1
Общее количество	6	7	11	16

В процентном соотношении по обилию представители отдела *Bacillariophyta* составили 70,59 %, *Cyanophyta* – 11,76 %, *Chlorophyta* – 11,76 %, *Xanthophyta* – 5,89 % (таблица 3).

Таблица 3. – Обилие альгофлоры водохранилищ Большие и Малые Сои

Отдел	Род, количество	% от общего числа представителей родов
Cyanophyta	2	11,76
Chlorophyta	2	11,76
Bacillariophyta	11	70,59
Xanthophyta	1	5,89
Всего	16	100

Сравнительный анализ таксономической структуры альгофлоры выявил превалирование диатомовых водорослей (70,59 % от общего числа выявленных представителей), суммарное родовое разнообразие отделов *Cyanophyta*, *Chlorophyta* и *Xanthophyta* составило 29,41 % общего состава альгофлоры.

Таким образом, для водохранилищ Большие и Малые Сои характерно высокое относительное обилие диатомовых (*Bacillariophyta*) водорослей. Экологические системы как еще более высокий уровень организации, включают в себя в качестве взаимодействующих элементов не только водоросли как живые компоненты, но и среду их обитания, выраженную через гидрохимические и гидрофизические показатели. Таким образом, структурные характеристики водорослей могут выступать в качестве показателей характера действия комплекса факторов, интенсивности их влияния на водную экосистему [6] (таблица 4).

В исследуемых водоемах экологические группы водорослей согласно сапробной значимости водорослей по Т. Я. Ашихминой [13] представлены следующими таксонами: олигосапробионты – *Cymbella* Ag., о-β-мезосапробионты – *Asterionella* Hassal, *Fragilaria* Lyngb., β-мезосапробионты – *Cladophora* Kütz., *Pinnularia* Ehr., *Spirogyra* Link., *Synedra* Ehr., α-β-мезасапробионты – *Navicula* Bory, *Craticula* Grunow, α-мезосапробионты – *Nitzschia* Hass. Наиболее часто встречающимися являются представители рода *Fragilaria* Lyngb., *Cladophora* Kütz., *Navicula* Bory, *Spirogyra* Link.

Таблица 4. – Гидрохимические и гидрофизические показатели водорослей-индикаторов

Таксон	Г	Эко	Гал	pH	s
Cyanophyta					
Microcystis (Kütz.) Elenk.	k	P	i	–	β
Oscillatoria Vauch.	k	P–B	hl	–	α
Chlorophyta					
Cladophora Kütz.	k	–	–	–	β
Spirogyra Link.	–	P	–	–	β

Окончание таблицы 4

Bacillariophyta					
Asterionella Hassal	–	P	–	–	o–β
Fragilaria Lyngb.	k	P–B	–	alf 7,2	o–β
Synedra Ehr.	k	B	–	–	β
Encyonema Kütz.	k	B	–	–	–
Gomphonema Ehr.	–	–	i	alf	β
Nitzschia Hass.	–	P–B	–	–	α
Bacillaria Gmelin	k	B	–	–	–
Navicula Bory	k	B	i	ind	β–α
Pinnularia Ehr.	k	B	2,1	ind	β
Craticula Grunow	k	B	i	–	β–α
Cymbella Ag.	b	B	i	–	o
Xanthophyta					
Centritractus Lemm.	–	P	–	–	–

Примечание – Г – географическая приуроченность: к – космополит, b – бореальный, а – аркто-альпийский; Эко – местообитание: Р – планктонные, Р-В – планктонно-бентосные, В – бентосные; Гал – галобность: oh – олигогалоб, hl – галофил, i – индифферент, hb – галофоб, mh – мезогалоб; pH – pH приуроченность: acf – ацидофил, ind – индифферент, alf – алкалифил, alb – алкалибионт; s – сапробный индекс вида: k – ксеносапробный организм, О – олигосапробный организм, β – бета-мезосапробные организмы, α – альфа-мезосапробные организмы, ρ – полисапробные организмы; «–» – информация не найдена.

Сапробность водохранилищ Большие и Малые Сои устанавливалась с учетом частоты встречаемости индикатора по 5-балльной шкале и индекса сапробности индикатора по формуле Пантле – Букка в модификации Сладечека [5].

$$S=\frac{\sum(sh)}{\sum(h)}=\frac{75,8}{40}=1,895,$$

где S – сапробность водохранилища, s – индекс сапробности индикатора, h – частота встречаемости индикатора (таблица 5).

Таблица 5. – Сапробиологическая оценка водорослей

Водоросли	s	i	Зона сапробности
Microcystis (Kütz.) Elenk.	1,75	3	β
Oscillatoria Vauch.	3,10	2	α
Cladophora Kütz.	1,65	4	β
Spirogyra Link.	1,40	4	β
Asterionella Hassal	1,40	3	o–β
Fragilaria Lyngb.	1,40	4	o–β
Synedra Ehr.	1,85	3	β
Encyonema Kütz.	–	–	–
Gomphonema Ehr.	1,70	4	β
Nitzschia Hass.	2,75	2	α
Bacillaria Gmelin	–	–	–
Navicula Bory	2,60	4	β–α
Pinnularia Ehr.	2,10	4	β
Craticula Grunow	–	–	α–β
Cymbella Ag.	1,90	3	β
Centritractus Lemm.	–	–	–

Примечание – s – сапробный индекс рода, i – индикаторное значение рода в пределах 1–5, «–» – информация не найдена.

Заключение

В результате проведенных исследований было установлено, что альгофлора водохранилищ Большие и Малые Сои представлена 16 родами водорослей, которые принадлежат к 4 отделам, 6 классам, 7 порядкам, 11 семействам. По количественному составу лидирующее положение занимают диатомовые водоросли (70,59 % от общего числа выявленных представителей родов), суммарное численное разнообразие отделов *Cyanophyta*, *Chlorophyta* и *Xanthophyta* составило 29,41 % общего состава альгофлоры. Наиболее многочисленными явились представители класса *Pennatophyceae*. В отделе *Bacillariophyta* превалируют представители порядков *Raphales* (36,37 % от общего числа представителей в отделе) и *Araphales* (27,2 %).

По отношению к географической приуроченности в значительной степени преобладают космополиты (8 родов) и лишь 1 род относится к бореальному.

Среди выявленных таксонов 4 рода (25 %) являются планктонными, 7 родов (43,8 %) – бентосными, 3 рода (18,74 %) – планктонно-бентосными; для двух родов (12,5 %) информации не найдено.

Индикаторами по отношению к концентрации солей выступают 7 родов, из которых 5 относятся к индифферентами, галлофил представлен 1 родом (род *Oscillatoria* Vauch.). По приуроченности к pH среде 2 рода относятся к индифферентам и 2 рода – к алкалифилам;

По зонам сапробности таксоны распределились следующим образом: 37,5 % (6 родов) представлены β-мезосапробионтами, по 12,5 % (3 рода) приходится на олиго-β-сапробионтов, β-α-мезосапробионтов, α-мезосапробионтов и 6,25 % (1 род) на олигосапробионтов.

Анализ состава альгофлоры, проведение необходимых математических расчетов свидетельствуют о принадлежности водохранилищ Большие и Малые Сои к β-мезосапробному водоему с показателями умеренного естественного загрязнения (индекс сапробности = 1,895).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чеснокова, С. М. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды : учеб. пособие : в 2 ч. / С. М. Чеснокова. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2007. – Ч. 1 : Методы биоиндикации. – 84 с.

2. Ляшенко, О. А. Биоиндикация и биотестирование в охране окружающей среды : учеб. пособие / О. А. Ляшенко. – СПб. : СПбГТУРП, 2012. – 67 с.

3. Применение биотестирования для оценки состояния водных объектов / Н. М. Гайворонская [и др.] // Актуальные проблемы экологии и природопользования : сб. науч. тр. – М. : РУДН, 2004. – Вып. 6, ч. 4. – 428 с.

4. Мелехова, О. П. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / О. П. Мелехова, Е. И. Егорова, Т. И. Евсеева ; под ред. О. П. Мелеховой, Е. И. Егоровой. – М. : Академия, 2007. – 288 с.

5. Булохов, А. Д. Экологическая оценка среды методами фитоиндикации / А. Д. Булохов. – Брянск : Брян. гос. ун-т, 1996. – 104 с.

6. Баринова, С. С. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды / С. С. Баринова, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова. – М. : ВНИИ природы. – 2000. – 150 с.

7. Сборник классических методов гидробиологических исследований для использования в аквакультуре / Г. К. Плотников [и др.]. – Даугавпилс : Сауле, 2017. – 282 с.

8. Водоросли, лишайники и мохообразные СССР / Л. В. Гарибова [и др.] ; под общ. ред. М. В. Горленко. – М. : Мысль, 1978. – 365 с.

9. Водоросли : справочник / С. П. Вассер [и др.]. – Киев : Наук. думка, 1989. – 608 с.

10. Михеева, Т. М. Альгофлора Беларуси : таксоном. кат. / Т. М. Михеева. – Минск : БГУ, 1999. – 396 с.

11. Макрушин, А. В. Биологический анализ качества вод / А. В. Макрушин ; под ред. Г. Г. Винберга. – Л., 1974. – 60 с.

12. Методы изучения пресноводного планктона : метод. рук. / под ред. А. П. Садчикова. – М. : Ун-т и шк., 2003. – 157 с.

13. Экологический мониторинг : учеб.-метод. пособие / под ред. Т. Я. Ашихминой. – М. : Академ. проект, 2006. – 416 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 20.05.2020

УДК 631.879

А. В. Сорока[1], Н. Ф. Терлецкая[2], А. С. Антонюк[3]
[1]канд. с.-х. наук, доц., зав. лабораторией агробиологии
Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси
[2]канд. биол. наук, науч. сотрудник лаборатории агробиологии
Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси
[3]науч. сотрудник лаборатории агробиологии
Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси
e-mail: info@paei.by

ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ОСНОВЕ ЗЕРНООТХОДОВ НА УРОЖАЙНОСТЬ КОРМОВЫХ КУЛЬТУР И ПЛОТНОСТЬ ПОЧВЫ

Изучено влияние органических удобрений на основе зерноотходов на урожайность кормовых культур и плотность почвы. Удобрения на основе зерноотходов по своим основным свойствам не уступают традиционным органическим удобрениям и могут быть использованы как их альтернатива. Зерноотходы возможно применять как в чистом виде, так и в сочетании с органическими и минеральными удобрениями, а также в качестве компонента для получения компоста. Внесение удобрений на основе зерноотходов способствует увеличению урожайности кормовых культур. Применение органических удобрений на основе зерноотходов приводит к разуплотнению пахотного горизонта почвы.

SOROKA A. V., TSIARLETSKAYA N. F., ANTONIUK A. S.
INFLUENCE OF ORGANIC FERTILIZERS BASED ON GRAIN WASTE ON THE YIELD OF FORAGE CULTURES AND SOIL DENSITY

The effect of organic fertilizers based on grain wastes on the yield of forage cultures and soil density is studied. Fertilizers based on grain waste are not inferior in their basic properties to traditional organic fertilizers and can be used as their alternative. Grain waste can be used both in pure form and in combination with organic and mineral fertilizers, as well as a component for compost production. Fertilization on the basis of grain wastes contributes to an increase in the yield of forage cultures. The use of organic fertilizers on the basis of grain waste reduces the density of the arable soil horizon.

Введение

В настоящее время проблема переработки и экологически безопасной утилизации отходов сельскохозяйственного и промышленного производства, в том числе зерноперерабатывающих предприятий, является одной из наиболее актуальных. Основные принципы управления отходами заключаются в предотвращении их вредного воздействия на окружающую среду, а также максимальном вовлечении во вторичный оборот в качестве сырья. Многокомпонентность большинства зерноотходов по набору питательных элементов дает возможность использовать их в растениеводческом комплексе сельскохозяйственного производства в качестве удобрений [1; 2].

В последние годы в связи с ростом численности предприятий животноводства, а также увеличением поголовья и концентрации КРС на животноводческих комплексах актуальной также становится проблема утилизации отходов, высокая плотность которых негативно влияет на окружающую среду [3]. Одним из путей решения этой проблемы является возможность совместного использования бесподстилочного навоза и зерноотходов, что является важным приемом воспроизводства плодородия почвы и повышения урожайности сельскохозяйственных культур.

В литературе недостаточно научно обоснованных решений о возможности рационального применения отходов зерноперерабатывающих производств в растениеводческой отрасли сельского хозяйства, об их влиянии на урожайность культур, качество растениеводческой продукции и свойства почвы. В настоящее время этот вопрос находится на начальной стадии изучения. В связи с этим проблема поиска альтернативных

способов утилизации зерноотходов на данный момент актуальна и является одной из основных задач агропромышленного сектора [4].

Целью нашей работы явилось изучение влияния органических удобрений на основе зерноотходов на урожайность кормовых культур и плотность почвы.

Материалы и методы исследования

Объектами исследований являлись зерноотходы, бесподстилочный жидкий навоз, мочевина.

Химический состав вносимых органических удобрений представлен в таблице 1.

Таблица 1. – Показатели органических удобрений (средние показатели в расчете на естественную влажность), %

Показатель (массовая доля)	Вид органического удобрения		
	Зерноотходы	Компост на основе зерноотходов и навоза КРС (1 : 7)	Бесподстилочный жидкий навоз
Общий азот	2,20	0,60	0,20
Общий фосфор	0,96	0,31	0,08
Общий калий	0,94	0,37	0,18

Экспериментальные участки по изучению влияния органических удобрений на основе зерноотходов на урожайность пожнивных сидеральных культур были заложены в ОАО «Хотиславский» Малоритского района Брестской области с посевом редьки масличной сорта Ника и озимого рапса сорта Прогресс.

Почва опытного участка под посевами редьки масличной – дегроторфяная, минерально остаточно-торфяная (содержание органического вещества 8,4 %), под посевами озимого рапса – дерново-глеевая насыщенная, среднемощная, песчаная, на древнеаллювиальных связных песках, сменяемых с глубины 0,3–0,4 м рыхлым песком.

Опыты по изучению влияния различных доз органических удобрений на основе зерноотходов на кормовые культуры весеннего срока сева были заложены на полевом стационаре «Агробиостанция» Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной, сменяемой с глубины 0,44 м рыхлым песком почве, с посевом озимого рапса сорта Империал, редьки масличной сорта Ника и гибрида кукурузы Краснодарский 194 МВ.

Под редьку масличную удобрения вносились с расчетом 100 кг/га азота по действующему веществу.

Отбор растительных образцов проводился в соответствии с ГОСТ 27262 [5].

Агротехника возделывания кормовых культур – общепринятая для Республики Беларусь [6]. Удобрения вносились под вспашку. Учет урожая – сплошной поделяночный.

Производственные опыты были заложены в Унитарном предприятии «Ляховичское-Агро» Ивановского района Брестской области с посевом гибрида кукурузы Полесский 212 СВ.

Массовая доля общего азота в удобрениях определялась по ГОСТ 26715, общего фосфора – по ГОСТ 26717, общего калия – по ГОСТ 26718 [7–9].

Плотность почв определялась методом «режущих колец».

Статистическая обработка данных проводилась по Б. А. Доспехову [10].

Результаты исследований и их обсуждение

Оценка влияния органических удобрений на основе зерноотходов на урожайность пожнивных сидеральных культур. Внесение зерноотходов в качестве органических удобрений способствовало существенному увеличению урожайности зеленой

массы пожнивных сидеральных культур. При применении зерноотходов в дозе 5 т/га урожайность зеленой массы озимого рапса увеличилась в 1,2 раза, в дозе 10 т/га – в 1,5 раза, в дозе 20 т/га – в 1,7 раза относительно контроля (таблица 2).

Таблица 2. – Урожайность пожнивных сидеральных культур в зависимости от доз и видов вносимых удобрений

Вариант опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю	
		ц/га	%
Озимый рапс (фаза листовой розетки)			
Контроль (без внесения зерноотходов)	42,1	–	–
Зерноотходы (5 т/га)	52,1	10,0	23,8
Зерноотходы (10 т/га)	62,4	20,3	48,2
Зерноотходы (20 т/га)	71,2	29,1	69,1
$НСР_{05}$	5,4		
Редька масличная (фаза листовой розетки)			
Контроль (без внесения зерноотходов)	87,4	–	–
Зерноотходы (5 т/га)	104,6	17,2	19,7
Мочевина (220 кг/га)	102,9	15,5	17,7
Бесподстилочный навоз (50 т/га)	105,2	17,8	20,4
Зерноотходы (2,5 т/га) + бесподстилочный навоз (25 т/га)	101,6	14,2	16,2
Зерноотходы (2,5 т/га) + мочевина (110 кг/га)	105,7	18,3	20,9
$НСР_{05}$	9,5		

Использование органических удобрений на основе зерноотходов оказало существенное влияние и на урожайность редьки масличной ($НСР_{05}$ = 9,5). Применение зерноотходов в дозе 5 т/га оказалось равноценно внесению мочевины 220 кг/га, бесподстилочного навоза 50 т/га, а также их совместному использованию с зерноотходом 2,5 т/га и способствовало формированию урожайности зеленой массы редьки масличной на уровне 101,6–105,7 ц/га.

Оценка влияния органических удобрений на основе зерноотходов на урожайность кормовых культур весеннего срока сева. В результате проведенных исследований установлено, что внесение зерноотходов в качестве органического удобрения способствует существенному увеличению урожайности зеленой массы кормовых культур весеннего срока сева. При применении зерноотходов в дозе 5 т/га урожайность зеленой массы озимого рапса возросла в 1,3 раза, 10 и 20 т/га – в 1,6 раза относительно контроля (таблица 3).

При внесении зерноотходов в чистом виде, а также в сочетании с мочевиной и бесподстилочным навозом урожайность зеленой массы редьки масличной увеличилась на 53,5–113,5 ц/га по сравнению с контрольным вариантом. Наиболее высокие показатели урожайности (486,8–513,3 ц/га) отмечены при внесении бесподстилочного навоза 50 т/га, а также зерноотходов 2,5 т/га совместно с бесподстилочным навозом 25 т/га.

Внесение зерноотходов в чистом виде в дозе 5–60 т/га, а также компоста на основе зерноотходов в дозе 40–60 т/га оказало существенное влияние на урожайность кукурузы ($НСР_{05}$ = 30,1). Наиболее высокие показатели урожайности (346,5–389,5 ц/га) отмечены при применении компоста на основе зерноотходов и бесподстилочного навоза.

В производственных условиях внесение компоста на основе зерноотходов способствовало увеличению урожайности кукурузы на 49,4–107,7 ц/га по сравнению с контролем. Действие компоста оказалось равноценно использованию подстилочного навоза (рисунок 1).

Таблица 3. – Урожайность кормовых культур весеннего срока сева в зависимости от доз и видов вносимых удобрений

Вариант опыта	Урожайность, ц/га	Прибавка к контролю	
		т/га	%
Озимый рапс (фаза бутонизации)			
Контроль (без внесения зерноотходов)	226,0	–	–
Зерноотходы (5 т/га)	284,0	58,0	25,7
Зерноотходы (10 т/га)	349,0	123,0	54,4
Зерноотходы (20 т/га)	356,1	130,1	57,6
$НСР_{05}$	21,9		
Редька масличная (фаза цветения)			
Контроль (без внесения зерноотходов)	373,3	–	–
Зерноотходы (5 т/га)	426,8	53,5	14,3
Мочевина (220 кг/га)	393,3	20,0	5,4
Бесподстилочный навоз (50 т/га)	513,3	140,0	37,5
Зерноотходы (2,5 т/га) + бесподстилочный навоз (25 т/га)	486,8	113,5	30,4
Зерноотходы (2,5 т/га) + мочевина (110 кг/га)	466,8	93,5	25,1
$НСР_{05}$	33,4		
Кукуруза (фаза молочно-восковой спелости)			
Контроль (без внесения зерноотходов)	264,5	–	–
Зерноотходы (5 т/га)	297,5	33,0	12,5
Зерноотходы (10 т/га)	300,0	35,7	13,5
Зерноотходы (20 т/га)	316,5	52,0	19,7
Зерноотходы (40 т/га)	326,0	61,5	23,3
Зерноотходы (60 т/га)	333,0	68,5	25,9
Компост (40 т/га)	346,5	82,0	31,0
Компост (60 т/га)	389,5	125,0	47,3
$НСР_{05}$	30,1		

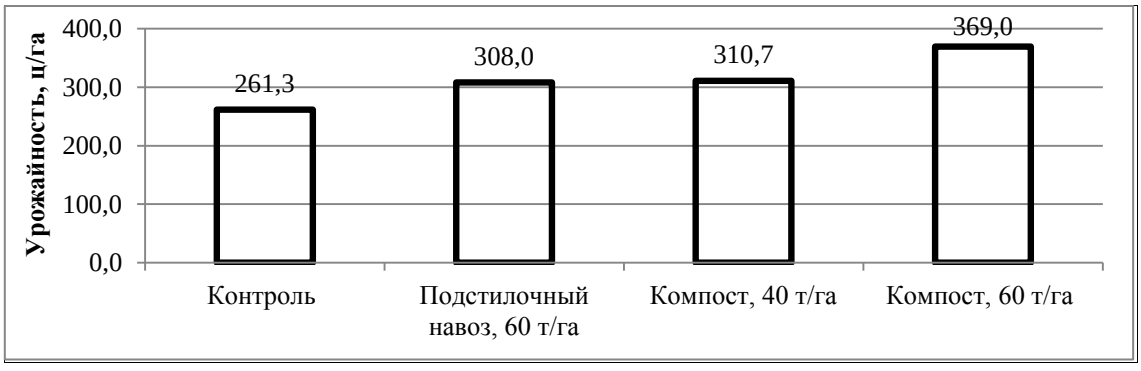


Рисунок 1. – Влияние удобрений на основе зерноотходов на урожайность кукурузы (производственный опыт)

Оценка влияния органических удобрений на основе зерноотходов на плотность почвы. Результаты проведенных нами исследований показали, что внесение зерноотходов и совместное их применение с органическими и минеральными удобрениями способствует разуплотнению пахотного слоя почвы. Наибольшее разуплотняющее действие, при котором наблюдалось снижение плотности на 0,20 г/см^3 по сравнению с контролем, отмечено при внесении зерноотходов в дозе 5 т/га. Использование зерноотходов совместно с бесподстилочным навозом и мочевиной привело к снижению плотности почвы на 0,11–0,13 г/см^3 (таблица 4).

Таблица 4. – Плотность пахотного слоя почвы при возделывании редьки масличной

Вариант опыта	Средняя плотность пахотного горизонта, г/см^3
Контроль (без внесения удобрений)	1,13
Зерноотходы (5 т/га = 100 кг азота/га)	0,93
Мочевина (220 кг/га = 100 кг азота/га)	1,08
Бесподстилочный навоз (50 т/га = 100 кг азота/га)	0,97
Зерноотходы (2,5 т/га = 50 кг азота/га) + бесподстилочный навоз (25 т/га = 50 кг азота/га)	1,00
Зерноотходы (2,5 т/га = 50 кг азота/га) + мочевина (110 кг/га = 50 кг азота/га)	1,02

Плотность пахотного горизонта почвы под посевами озимого рапса в вегетационном опыте с внесением различных доз зерноотходов колебалась от 1,02 до 1,11 г/см^3. Установлена тенденция снижения плотности почвы с увеличением дозы внесения зерноотходов: при применении зерноотходов в дозе 10 т/га плотность снижалась на 0,09 г/см^3, 20 т/га – на 0,15 г/см^3 относительно контроля (рисунок 2).

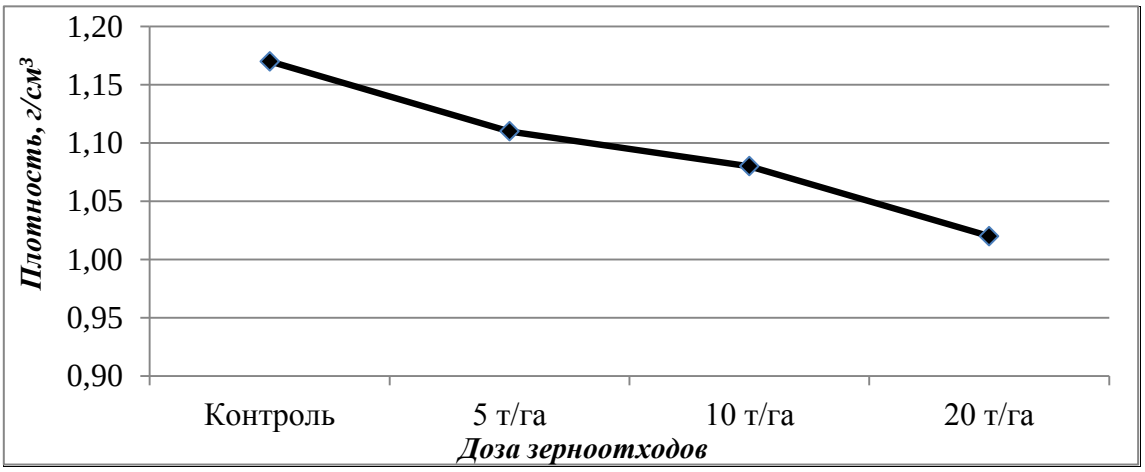


Рисунок 2. – Изменение плотности почвы под посевами озимого рапса в зависимости от доз применяемых органических удобрений на основе зерноотходов

Плотность почвы при внесении зерноотходов в дозе 5 и 10 т/га явилась оптимальной для возделывания озимого рапса и составила 1,08–1,11 г/см^3. При использовании зерноотходов в дозе 20 т/га наблюдалось снижение плотности до 1,02 г/см^3.

Заключение

1. Отходы зерноперерабатывающих предприятий по основным свойствам не уступают традиционным органическим удобрениям и могут быть использованы как их альтернатива.

2. Внесение органических удобрений на основе зерноотходов способствует существенному увеличению урожайности пожнивных сидеральных культур и кормовых культур весеннего срока сева.

3. В качестве удобрений зерноотходы возможно использовать как в чистом виде, так и в сочетании с органическими и минеральными удобрениями, а также как компонент для получения компоста. Внесение компоста на основе зерноотходов и навоза КРС под кукурузу наиболее эффективно по сравнению с применением традиционных органических удобрений.

4. Рыхлое сложение зерноотходов при внесении их отдельно и в сочетании с органическими и минеральными удобрениями способствует разуплотнению пахотного слоя почвы под посевами кормовых культур.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка состава отходов зерноперерабатывающих предприятий / А. В. Сорока [и др.] // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. – 2018. – № 2. – С. – 124–128.

2. Белюченко, И. С. Влияние отходов промышленного и сельскохозяйственного производства на физико-химические свойства почв / И. С. Белюченко, Е. И. Муравьев // Экол. вестн. Север. Кавказа. – 2009. – Т. 5, № 1. – С. 84–86.

3. Иванов, Ю. А. Экологичное животноводство, проблемы и вызовы / Ю. А. Иванов, В. В. Миронов // Сб. науч. тр. ИАЭП. – 2015. – Вып. 87. – С. 35–47.

4. Титова, В. И. Обоснование использования отходов в качестве вторичного материального ресурса в сельскохозяйственном производстве / В. И. Титова, М. В. Дабахов, Е. В. Дабахова. – Н. Новгород : ВВАГС, 2009. – 178 с.

5. Корма растительного происхождения. Методы отбора проб : ГОСТ 27262-87. – Введ. 01.07.1988. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2002. – 12 с.

6. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур : сб. отрасл. регламентов / Ф. И. Привалов [и др.] ; ред.: В. Г. Гусаков, Ф. И. Привалов ; Нац. акад. наук Беларуси, РУП «Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию». – Минск : Беларус. навука, 2012. – 469 с.

7. Удобрения органические. Методы определения общего азота : ГОСТ 26715-85. – Введ. 01.01.1987. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 16 с.

8. Удобрения органические. Метод определения общего фосфора : ГОСТ 26717-85. – Введ. 01.01.1987. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.

9. Удобрения органические. Метод определения общего калия : ГОСТ 26718-85. – Введ. 01.01.1987. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 8 с.

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

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 13.02.2020

УДК 577.13:582.892

Д. П. Филиппова[1], Н. Ю. Колбас[2], В. Н. Решетников[3]
[1]магистр биол. наук, аспирант каф. химии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
[2]канд. биол. наук, доц., зав. каф. химии
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
[3]д-р биол. наук, проф., академик Национальной академии наук Беларуси
зав. отделом биохимии и биотехнологии растений
Центрального ботанического сада Национальной академии наук Беларуси
e-mail: fdp@li.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ И ОБЩЕГО КОЛИЧЕСТВА ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РОДА ПОЛИСЦИАС (*POLYSCIAS SPP.*)

Представлены данные об антиоксидантной активности и общего количества фенольных соединений экстрактов листьев трех видов Polyscias. По методу АБТС значения параметра составили 0,355–0,401 ммоль ТЭ/л, по методу FRAP – 0,528–0,542 ммоль Fe^{+2}/л. *Исследования биологически активных, в частности фенольных, соединений представителей родов Polyscias играют перспективную роль в современной фармакологической и медицинской индустрии. С их помощью можно получать соединения с высокой антиоксидантной активностью, а также развивать биотехнологические методики, направленные на промышленное внедрение культур клеток и тканей in vitro.*

FILIPPOVA D. P., KOLBAS N. Y., RESHETNIKOV V. N.
COMPARATIVE ANALYSIS ANTI-OXIDANT ACTIVITY AND TOTAL PHENOLIC COMPOUNDS OF THE GENUS POLYSCIAS (POLYSCIAS SPP.)

Research of biologically active compounds, in particular phenolic ones, of the Polyscias genus plays a promising role in the modern pharmacological and medical industry. They can be used to obtain compounds with high antioxidant activity, as well as to develop biotechnological techniques aimed at the industrial introduction of cell and tissue cultures in vitro.

Введение

Растения являются неизменным источником биологически активных веществ (БАВ). Многие из соединений, используемых в фармацевтической, пищевой, парфюмерной и ветеринарной промышленности, выделяют из тканей дикорастущих, редких и исчезающих видов. Поэтому особый интерес представляет изучение проблемы рационального использования природных ресурсов и культивирование растений в современной селекции.

Полисциас (*Polyscias* J. R. Forst) – род растений семейства Аралиевые (*Araliaceae* Juss.). Произрастают в Юго-Восточной Азии и на островах Индийского и Тихого океанов. Согласно контрольному списку представителей семейства Аралиевых, к роду *Polyscias* причисляют более 100 видов [1].

Представители вышеназванного рода на данный момент являются объектами изучения как традиционной, так и нетрадиционной медицины и фармакологии ввиду высокой биологической активности веществ, накапливаемых в вегетативных органах данных растений. Некоторые соединения, обладающие широким спектром биологической активности и содержащиеся в листьях полисциаса, являются одними из перспективных направлений в современной биохимии и биотехнологии. Подобные соединения оказывают специфическое действие на сердечно-сосудистую и центральную нервную системы, повышают когнитивную деятельность, стимулируют иммунную систему,

вызывая индукцию интерферона, а также обладают иммуномодулирующим, противоопухолевым, антиоксидантным и антивирусным действиями [2].

Препараты полисциаса назначаются как эффективные средства, стимулирующие физическую работоспособность, процессы ранозаживления, лактации, устойчивость организма к инфекционным болезням, а также в комплексной терапии ревматических заболеваний и невралгии [3]. Вследствие этого выращивание отдельных представителей рода *Polyscias* с последующим накоплением опыта в плане создания культур клеток и тканей является одним из перспективных направлений развития тандема биотехнологии и фармакологии на территории Республики Беларусь. В наших широтах ни один из видов полисциаса не произрастает. Однако в Брестской области полисциас возможно выращивать в оранжерейных и тепличных условиях.

Литературные данные о компонентном составе фенольных соединений представителей рода *Polyscias* носят фрагментарный характер. В составе экстрактов вегетативной массы выявлено наличие спирто- и водорастворимых веществ, крахмала, свободных акминокислот, сахаров, тритерпеновых сапонинов, олеанолоных гликозидов и свободной олеаноловой кислоты. Существенным является установление факта высокого содержания в экстрактах полисциаса b-ситостерина, также известного широким спектром благоприятных эффектов [4; 5].

Перспективной является разработка методик подобных исследований для представителей рода *Polyscias*, что поспособствует накоплению знаний о спектре фенольных соединений в плодах, листьях и корнях и предоставит полезную информацию для отраслей, заинтересованных в производстве биологически активных добавок на основе этих растений. Также, благодаря разработкам ученых Института физиологии растений имени К. А. Тимирязева РАН и Санкт-Петербургской химико-фармацевтической академии из корня полисциаса кустарникового (*Polyscias fruticose* L.) выделен штамм, который можно выращивать in vitro и получать требуемые количества биомассы культуры ткани этого растения [4].

С целью понять механизм действия биологически активных веществ растительного происхождения, которые способны бороться с различными заболеваниями и их последствиями вследствие антирадикального окисления, разработан целый ряд исследований по изучению антиоксидантной активности полисциаса [2]. Так как листья можно собирать каждый вегетационный период, то важным аспектом является оценка уровня и сезонных изменений антиоксидантной активности в листьях с различным возрастом растения для заготовок сырья в перспективе.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования нами были использованы листья *Polyscias* трех видов: полисциаса кустарникового (*P. fruticosa* L.), полисциаса курчавого (*P. crispatum* L.) и полисциаса шлемовидного (*P. scutellaria* L.). Образцы собирали с дочерних растений одной родительской особи и затем высушивали путем лиофилизации.

Для получения суммарного экстракта навеску воздушно-сухого порошка растительного сырья, предварительно растертого с небольшим количеством экстрагента, дважды экстрагировали 70 % этанолом (по объему) и настаивали в течение 7 дней. Далее полученный экстракт подвергали исследованию.

Определение антиоксидантной активности экстрактов полисциаса проводили с использованием модельных систем с катион-радикалами АБТС (2,2-азинобис-3-этилбензотиазолин-6-сульфонат) и методом *FRAP* (от англ. *Ferric Reducing Antioxidant Power* – железо-восстанавливающая антиоксидантная мощность).

Метод АВТС является перспективным подходом, основанным на применении катион-радикала диаммониевой соли 2,2’-азино-бис(3-этилбензтиазолин-6-сульфоновой

кислоты) ($АВТС^{\cdot+}$). $АВТС^{\cdot+}$ обладает характерным спектром поглощения и высокой оптической плотностью при длинах волн 660–820 нм, что делает возможным его применение для характеристики сложных систем, содержащих окрашенные компоненты.

Раствор $АБТС^{\bullet+}$ готовили реакцией 5 мл $7 \cdot 10^{-3}$ М водного раствора АБТС и 88 мкл $140 \cdot 10^{-3}$ М водного раствора $K_2S_2O_8$ и выдерживали 16 часов без доступа света при температуре +4 °С. Непосредственно перед анализом исходный раствор катион-радикала диспергировали водой до значения абсорбции 0,70 ± 0,005 при λ = 734 нм. При проведении анализа к 3 мл рабочего раствора $АБТС^{\bullet+}$ добавляли 100 мкл экстракта. Изменение оптической плотности (A_E) смеси регистрировали в течение 10 минут с использованием спектрофотометра (Proscan MC 122) при λ = 734 нм и длине пути светового монохромного луча в 1 см. Контрольное измерение оптической плотности (A_B) проводили при тех же условиях, но в качестве образца использовали дистиллированную воду.

Степень ингибирования катион-радикала $АБТС^{\bullet+}$ вычисляли по формуле:

$$\% \text{ ингибирования} = [(A_B - A_E) / A_B] \times 100,$$

где A_B – оптическая плотность контроля; A_E – изменение оптической плотности смеси после инкубирования.

В качестве стандарта использовали Тролокс (6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбоновая кислота) – гидрофильный аналог токоферола, также обладающий антиоксидантным действием. Для построения калибровочной кривой применяли эффективный диапазон концентраций тролокса от 10 до 600 мкмоль/л. Антиоксидантную активность исследуемых листьев выражали в милимоль тролокс-эквивалента в пересчете на литр экстракта, учитывая линейную зависимость параметра стандарта от его концентрации.

В свою очередь, метод *FRAP* позволяет оценить антиоксидантную активность непосредственно в пробе за счет восстановления в кислой среде бесцветного Fe (III)-трипиридилтриазина синего цвета [2].

Рабочий реактив *FRAP* готовили непосредственно перед анализом из ацетатного буфера, 0,01М раствора 2,4,6-три(2-пиридил)-S-триазина и 0,02М раствора $FeCl_3$ в пропорции 10 : 1 : 1 по объему. Для проведения испытания брали 0,4 мл образца стандарта (раствор $FeSO_4$) или контроля (ацетатный буфер) и добавляли 3 мл рабочего реактива FRAP. Инкубировали 30 минут при температуре +37 ^{o}С. Измерение оптической плотности анализируемой смеси регистрировали при λ = 593 нм. Для построения калибровочной кривой использовали эффективный диапазон концентраций $FeSO_4$ от 0,234 до 1,875 ммоль/л. Антиоксидантную активность выражали миллимоль Fe^{+2} на литр экстракта (ммоль Fe^{+2}/л).

Общее содержание фенольных соединений в экстрактах определяли спектрофотометрически по реакции с реактивом Фолина. Для этого к 0,1 мл фильтрата приливали поэтапно 2,8 мл дистиллированной воды, 0,2 мл реактива Фолина и 0,8 мл 20 % раствора Na_2CO_3. Спектрофотометрическое исследование проводили с использованием пластикой кюветы при λ = 765 нм на аппарате Proscan MC 122. Общее количество фенольных соединений (ОКФС) рассчитывали в миллиграммах галловой кислоты (ГМ) на 100 г сырой навески растительного материала, учитывая линейную зависимость, при среднем $R^2 = 0,993$.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований было установлено, что показатель антиоксидантной активности (АОА) исследуемых экстрактов полисциаса кустарникового (*P. fruticosa* L.) составил 0,401 ± 0,032 ммоль ТЭ/л при степени ингибирования

катион-радикала АБТС$^{\bullet+}$, равной 76,3 ± 5,86 %, полисциаса курчавого (*P. crispatum* L.) – 0,355 ± 0,011 ммоль ТЭ/л при степени ингибирования 68,68 ± 1,78 % и полисциаса шлемовидного (*P. scutellaria* L.) – 0,393 ± 0,018 ммоль ТЭ/л при степени ингибирования 74,92 ± 1,78 % соответственно (таблица 1).

Таблица 1. – Антиоксидантная активность экстрактов полисциаса при использовании модельной системы с катион-радикалом АБТС

Вид	Показатель АОА, ммоль ТЭ/л	Степень ингибирования АБТС$^{\bullet+}$, %
Polyscias fruticosa L.	0,401 ± 0,032	76,3 ± 5,86
Polyscias crispatum L.	0,355 ± 0,011	68,68 ± 1,78
Polyscias scutellaria L.	0,393 ± 0,018	74,92 ± 1,78

Примечание – ТЭ – тролокс эквивалент.

В свою очередь, показатели антиоксидантной активности по методу FRAP составили 0,542 ± 0,009 ммоль Fe^{+2}/л для полисциаса кустарникового (*P. fruticosa* L.) и 0,528 ± 0,013 и 0,531 ± 0,011 ммоль Fe^{+2}/л для полисциаса курчавого (*P. crispatum* L.) и полисциаса шлемовидного (*P. scutellaria* L.) соответственно (таблица 2).

Таблица 2. – Антиоксидантная активность (по методу FRAP) экстрактов полисциаса

Вид	Показатель АОА, ммоль Fe^{+2}/л
Polyscias fruticosa L.	0,542 ± 0,009
Polyscias crispatum L.	0,528 ± 0,013
Polyscias scutellaria L.	0,531 ± 0,011

Общее содержание фенольных соединений в экстрактах вегетативной массы исследуемых растений составило 889,1–1101,9 мг ГК/100 г сырой навески (таблица 3).

Таблица 3. – Общее количество фенольных соединений (ОКФС) в экстрактах полисциаса

Вид	ОКФС, мг ГК / 100 г сырой навески
Polyscias fruticosa L.	1101,9 ± 18,4
Polyscias crispatum L.	889,1 ± 14,9
Polyscias scutellaria L.	909,2 ± 17,1

Изученные растения по уменьшению содержания фенольных соединений экстрактов их вегетативной массы можно распределить следующим образом: *Polyscias fruticose* > *Polyscias scutellaria* > *Polyscias crispatum.*

В целом установлена высокая корреляция между ОКФС и АОА. Максимальные значения общего количества фенольных соединений и антиоксидантной активности, измеренной методиками АБТС и FRAP, были выявлены у экстрактов полисциаса кустарникового (*P. fruticosa*), немного меньшие значения достигнуты у экстрактов полисциаса шлемовидного (*P. scutellaria*) и наименьшие – у полисциаса курчавого (*P. crispatum*). Возможно, это объясняется тем, что у полисциаса курчавого наименьшая площадь листовой пластинки, что не дает возможности синтеза фенольных соединений, обладающих антиоксидантной активностью в таких же количествах, как у других представителей исследуемых видов.

Исходя из сведений, представленных в литературных источниках, также можно сравнить уровень антиоксидантной активности экстрактов полисциаса с экстрактами других лекарственных растений, имеющих ярко выраженные антирадикальные свойства или имеющие полезные фармакологические характеристики (таблица 4) [7].

В таблице 4 лекарственные растения представлены выборочно, начиная с вида, показавшего максимальные значения антиоксидантной активности – 2,523 ммоль Fe^{+2}/л (*Melissae folium* L.), заканчивая *Althaea officinalis* L., антиоксидантная активность экстрактов которого, измеренная по методике FRAP, составила 0,059 ммоль Fe^{+2}/л. Женьшень обыкновенный и полисциас кустарниковый по своим показателям завершают первую половину этого списка со значениями 0,592 и 0,542 ммоль Fe^{+2}/л соответственно. Полисциас шлемовидный и курчавый расположились в начале второй половины списка, уступая лишь мать-и-мачехе – 0,531 и 0,528 ммоль Fe^{+2}/л. Однако все вышеназванные результаты близки по своим значениям, что говорит о высокой антирадикальной активности как одних, так и других видов.

Таблица 4. – Антиоксидантная активность (по методу FRAP) экстрактов некторых лекарственных растений

Вид	Показатель АОА, ммоль Fe^{+2}/л	Литературный источник
Мелисса лекарственная (*Melissae folium* L.)	2,523	[8]
Спирея серая (*Spiraea herba* Zabel.)	1,526	[8]
Ива травянистая (*Salix herbaceae* L.)	1,089	[8]
Тимьян обыкновенный (*Thymus vulgaris* L.)	0,907	[8]
Мята перечная (*Mentha piperita* L.)	0,899	[8]
Сумах дубильный (*Rhus coriaria* L.)	0,713	[8]
Вероника длиннолистная (*Veronicae longifolia* L.)	0,651	[8]
Женьшень обыкновенный (*Panax ginseng* L.)	0,592	[5]
Полисциас кустарниковый (*Polyscias fruticose* L.)	0,542	
Мать-и-мачеха (*Tussilago farfara* L.)	0,535	[8]
Полисциас шлемовидный (*Polyscias scutellaria* L.)	0,531	
Полисциас курчавый (*Polyscias crispatum* L.)	0,528	
Эхинацея пурпурная (*Echinacea purpurea* Moench.)	0,403	[8]
Крапива двудомная (*Urtica dioica* L.)	0,316	[8]
Лопух обыкновенный (*Arctium lappa* L.)	0,234	[8]
Вербена лекарственная (*Verbena officinalis* L.)	0,209	[8]
Фенхель обыкновенный (*Foeniculum vulgare* Mill.)	0,142	[8]
Календула лекарственная (*Calendula officinalis* L.)	0,138	[8]
Цетрария исландская (*Cetraria islandica* L.)	0,125	[8]
Алтей лекарственный (*Althaea officinalis* L.)	0,059	[8]

Полученные результаты говорят о высокой антиоксидантной активности экстрактов листьев полисциаса (максимальные значения достигнуты у экстракта листьев полисциаса кустарникового), если сравнивать их с показателями АОА экстрактов листьев женьшеня обыкновенного, который является признанным высокоэффективным ингибитором свободных радикалов [5]. Поэтому дальнейшие исследования в этой области могут привести к получению в будущем высокоактивных фармацевтических компонентов, предотвращающих разрушающее и пагубное действие свободных радикалов на различные биологические системы, в том числе на организм человека.

Использование экстрактов растений полисциаса объективно может принести пользу фармацевтической промышленности, так как они имеют достаточно усредненный показатель антиоксидантной активности, связанный с общим количеством фенольных соединений, и не способны нанести вред даже при использовании их в больших дозах и высоких концентрациях.

Заключение

Таким образом, общепринятые методики АБТС и FRAP можно использовать для оценки антиоксидантной активности экстрактов полисциаса и их компонентов, т. к. являются достаточно доступными и показывают результаты с высокой корреляционной зависимостью от общего содержания фенольных соединений.

Последующие исследования компонентного состава и антиоксидантной активности соединений представителей родов *Polyscias* имеют большой научный и практический потенциал, играют огромную роль в современной фармакологии для получения соединений с высокой антиоксидантной активностью, а также способствуют развитию биотехнологических разработок, направленных на промышленное внедрение выращивания культур клеток и тканей in vitro.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang, H. W. Ginseng leaf-stem: Bioactive constituents and pharmacological functions / H. W. Wang, D. C. Peng, J. T. Xie // Chin. Med. – 2009. – Vol. 4. – P. 1–8.

2. Seog, H. M. Antioxidant activities of cultivated and wild Korean ginseng leaves / H. M. Seog, I. W. Choi, H. Y. Cho // Food Chem. – 2005. – Vol. 92. – P. 535–540.

3. Lee, L.-S. Hypolipidemic and Antioxidant Properties of Phenolic Compound-Rich Extracts from White Ginseng (*Panax ginseng*) in Cholesterol-Fed Rabbits / L.-S. Lee, C.-W. Cho // Molecules. – 2013. – Vol. 18. – P. 17381–17399.

4. Chung, I.-M. Comparative phenolic compound profiles and antioxidative activity of the fruit, leaves, and roots of Korean ginseng *(Panax ginseng* Meyer) according to cultivation years / I.-M. Chung, J.-J. Lim // J. Ginseng Research. – 2015. – Vol. 40. – P. 68–75.

5. Кочкин, Д. В. Качественный и количественный состав тритерпеновых гликозидов культур клеток in vitro представителей семейства Araliaceae (*Panax* spp., *Polyscias* spp.) / Д. В. Кочкин, А. М. Носов // Биология растительных клеток in vtro и биотехнология : материалы Междунар. науч. конф., Казань, 14–16 окт. 2013. – Казань : Наука, 2013. – С. 45–46.

6. Антирадикальная активность листьев женьшеня / А. Г. Шутова [и др.] // Роль ботанических садов и дендрариев в сохранении, изучении и устойчивом использовании разнообразия растительного мира : материалы Междунар. науч. конф., Минск, 6–8 июня 2017 г. – Минск : Медиосонт, 2017. – С. 157–161.

7. Ludwiczuk, A. Estimation of the chemical composition and antimicrobial and antioxidant activity of extracts received from leaves and roots of American ginseng / A. Ludwiczuk, T. Wolski // Herba Polonica. – 2006. – Vol. 52, Nr 4. – P. 79–90.

8. Katalanic, V. Screening of 70 medicinal plant extracts for antioxidant capacity and total phenols / V. Katalanic, M. Milos / Food Chem. – 2004. – Vol. 94. – P. 550–557.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 19.03.2020

УДК 581.1:574.24

Е. Г. Тюлькова
канд. биол. наук, доц. каф. товароведения
Белорусского торгово-экономического университета потребительской кооперации
e-mail: tut-3@mail.ru

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕТУЧИХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Представлены результаты изучения содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений различных возрастных групп, произрастающих в условиях техногенного воздействия выбросов промышленных предприятий, содержащих в своем составе летучие органические соединения. Получено, что для березы повислой в большинстве вариантов характерно повышенное содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях представителей возрастной группы до 20 лет на протяжении всего периода вегетации; у тополя пирамидального наблюдалось повышенное содержание пигментов в группе после 30 лет в мае и августе; у клена остролистного возрастной группы до 20 лет содержание пигментов фотосинтеза в сентябре превышало категорию более 30 лет, а в мае и июле – наоборот, было ниже в этой группе. Липа мелколистная в отличие от остальных изучаемых древесных растений в меньшей степени характеризовалась наличием каких-либо тенденций изменений в содержании пигментов фотосинтеза.

TYULKOVA E. G.

SEASONAL DYNAMICS OF PHOTOSYNTHETIC PIGMENT CONTENT IN LEAVES OF WOOD PLANTS OF DIFFERENT AGE GROUPS UNDER EXPOSURE CONDITIONS VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS

The article presents the results of the study of photosynthetic pigment content in leaves of wood plants of different age groups growing under conditions of technogenic impact of emissions of industrial enterprises containing volatile organic compounds. It is obtained that the birch in most variants is characterized by an increased content of chlorophylls and carotenoids in the leaves of members of the under 20 age group throughout the growing period; the pyramidal poplar showed increased pigment content in the group after 30 years in may and august; in maple of acute age group under 20 years of age content of photosynthesis pigments in september exceeded category more than 30 years, and in may and july – on the contrary, was lower in this group. Small-leaved linden, in contrast to the rest of the studied woody plants, was less characterized by the presence of any trends in changes in the content of photosynthesis pigments.

Введение

Источники техногенных элементов и их соединений в виде промышленных предприятий, неравномерно распределенные по территории и имеющие различный характер и интенсивность, создают достаточно пеструю картину загрязнения окружающей среды как по составу загрязнителей, так и по их концентрации.

Современное промышленное производство резко расширяет спектр источников воздействия и объемы последствий влияния на окружающую среду. Промышленные предприятия теплоэнергетики, топливной, химической и нефтехимической промышленности, машиностроения, цветной металлургии являются источниками летучих органических соединений, выбросы которых в настоящее время могут достигать значительного количества при изменениях в технологических процессах. В результате в окружающую среду поступают алканы, циклоалканы, непредельные и ароматические углеводороды, спирты, сложные эфиры.

Одной из наиболее уязвимых систем растительной клетки при действии различных повреждающих факторов, в том числе различных углеводородов, является фотосинтетический аппарат. Изучение влияния летучих органических соединений на содер-

жание пигментов фотосинтеза и интенсивность функционирования фотосинтетического аппарата растений является малоизученным [1–5] по сравнению с воздействием оксидов азота, углерода, серы, аммиака, сероводорода, формальдегида, твердых частиц, тяжелых металлов [6–18]. В связи с этим целью исследований явилось изучение содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений различных возрастных групп, произрастающих в условиях техногенного воздействия выбросов промышленных предприятий, содержащих в своем составе летучие органические соединения.

Материал и методы исследований

В качестве объектов для определения концентрации хлорофиллов и каротиноидов были выбраны листья ряда видов местных древесных растений: березы повислой *Betula pendula* Roth., клена остролистного *Acer platanoides* L., тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz., липы мелколистной *Tilia cordata* Mill.

Пробы листьев отбирали вблизи промышленных предприятий г. Гомеля, в выбросах которых летучие органические соединения (ксилолы, бензол, бутилацетат, этилацетат) содержатся в значительном количестве (ОАО «Гомельский завод литья и нормалей» – далее – ОАО «ГЗЛиН») по сравнению с другими загрязняющими веществами.

Что касается бенз(а)пирена, то, несмотря на невысокое наличие в выбросах предприятий теплоэнергетики (ТЭЦ-2), исследование его влияния связано с высокой токсичностью, способностью в небольших количествах вызывать значительный эффект, недостаточной изученностью характера и закономерностей влияния на физиологические процессы в листьях растений и возможностью проведения сравнительной оценки влияния полициклического ароматического углеводорода и одноядерных ароматических углеводородов на растительные организмы.

Контрольными условиями явилась часть территории национального парка Припятский (Хобненское лесничество), максимально приближенная к г. Гомелю и свободная от влияния промышленной деятельности и интенсивного транспорта.

Отбор листьев производили в течение вегетационного периода (май – август 2019 г.) с отдельно стоящих деревьев (не менее 3–5 в каждой точке), находящихся примерно в сходных климатических условиях произрастания, с высоты 1,5 м.

Возраст исследуемых деревьев оценивали путем определения диаметра ствола, который делили на среднегодовой прирост.

Для определения содержания хлорофиллов *a, b* и каротиноидов в листовых пластинках овсяницы тростниковой *Festuca arundinacea* Schreb. использовали спектрофотометр Shimadzu UV-2401 PC («Shimadzu», Япония). Содержание пигментов фотосинтеза определяли через одни и трое суток после обработки. Для экстракции фотосинтетических пигментов использовали навески листьев, сырая масса которых составляла 30–40 мг. Экстракцию хлорофиллов и каротиноидов производили 99,5 %-ным ацетоном. Содержание пигментов в экстрактах рассчитывали с помощью коэффициентов экстинкции, приведенных в работе [19] для соответствующего растворителя, по формулам (1) – (4):

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

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

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

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

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

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

Достоверность различий между содержанием пигментов в экспериментальных и контрольных пробах оценивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Математическую обработку цифрового материала выполняли с помощью компьютерной программы *M. Excel* и *Statistica*.

Результаты исследований и их обсуждение

Характер и уровень содержания хлорофиллов и каротиноидов в пробах листьев древесных растений, как показано в таблицах 1–4, находился в определенной зависимости от их возраста. Сезонная динамика содержания пигментов фотосинтеза в листьях березы повислой, произрастающей на исследуемых территориях, характеризовалась различными направлениями: у деревьев, произрастающих в окружении ОАО «ГЗЛиН», в мае наблюдалось повышенное содержание пигментов в возрастной группе до 20 лет по сравнению с группой после 30 лет, а далее – в июле и сентябре происходило снижение уровня пигментов у молодых представителей (таблица 1).

У березы повислой, произрастающей в окружении ТЭЦ-2 и в контроле, наблюдалось повышенное содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях представителей возрастной группы до 20 лет на протяжении всего периода вегетации, за исключением контрольной территории в июле. Кроме того, представители группы до 20 лет характеризовались повышенным количеством пигментов в мае по сравнению с сентябрем; в остальных вариантах для какой-либо одной возрастной группы на всех исследуемых территориях такая тенденция выявлена не была.

Таблица 1. – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой *Betula pendula* Roth.

Отбор проб		Содержание пигментов, мг/г сырой массы			$\frac{хлорофилл\ a}{хлорофилл\ b}$	$\frac{хлорофилл\ (a+b)}{каротиноиды}$
Место	Время	хлорофилл		каротиноиды		
		a	*b*			
до 20 лет						
контроль	май	2,34 ± 0,10	0,61 ± 0,01	1,32 ± 0,05	3,80	2,08
	июль	1,75 ± 0,08	0,87 ± 0,03	1,26 ± 0,05	2,02	2,08
	сентябрь	2,27 ± 0,10	0,95 ± 0,04	1,13 ± 0,05	2,38	2,84
ОАО «ГЗЛиН»	май	1,60 ± 0,07*	0,68 ± 0,02*	1,01 ± 0,03*	2,35	2,26
	июль	1,27 ± 0,05*	0,41 ± 0,01*	0,80 ± 0,03*	3,10	2,10
	сентябрь	1,51 ± 0,07*	0,52 ± 0,03*	0,86 ± 0,03*	2,90	2,36
ТЭЦ-2	май	1,85 ± 0,08*	0,77 ± 0,02*	1,20 ± 0,05*	2,40	2,18
	июль	1,58 ± 0,07*	0,56 ± 0,03*	1,06 ± 0,04*	2,82	2,02
	сентябрь	1,84 ± 0,08*	0,72 ± 0,04*	1,18 ± 0,05*	2,56	2,48
20–30 лет						
контроль	май	1,63 ± 0,06	0,40 ± 0,01	0,96 ± 0,04	4,07	1,78
	июль	2,14 ± 0,10	0,90 ± 0,03	1,16 ± 0,05	2,39	1,15
	сентябрь	2,04 ± 0,09	0,86 ± 0,03	1,19 ± 0,05	2,39	2,44
ОАО «ГЗЛиН»	май	1,44 ± 0,06*	0,76 ± 0,03*	0,87 ± 0,03*	1,89	2,53
	июль	1,25 ± 0,05*	0,40 ± 0,01*	0,75 ± 0,03*	3,13	2,20
	сентябрь	1,38 ± 0,06*	0,40 ± 0,01*	0,74 ± 0,03*	3,41	2,41
ТЭЦ-2	май	1,44 ± 0,06*	0,59 ± 0,02	0,89 ± 0,03*	2,46	2,27
	июль	1,41 ± 0,06*	0,54 ± 0,01*	0,92 ± 0,05*	2,61	2,12
	сентябрь	1,61 ± 0,07*	0,58 ± 0,02*	0,96 ± 0,04*	2,77	2,31

Окончание таблицы 1

более 30 лет						
контроль	май	1,65 ± 0,05	0,78 ± 0,03	1,05 ± 0,04	2,13	2,30
	июль	1,86 ± 0,08	0,83 ± 0,03	0,81 ± 0,02	2,38	2,35
	сентябрь	1,85 ± 0,08	0,75 ± 0,03	1,06 ± 0,04	2,46	2,45
ОАО «ГЗЛиН»	май	1,37 ± 0,06*	0,51 ± 0,02*	0,85 ± 0,08*	2,66	2,21
	июль	1,54 ± 0,07*	0,53 ± 0,02*	1,01 ± 0,04*	2,91	1,11
	сентябрь	1,63 ± 0,07*	0,49 ± 0,01*	0,82 ± 0,03*	3,32	2,59
ТЭЦ-2	май	1,40 ± 0,06*	0,56 ± 0,02*	0,89 ± 0,03*	2,50	2,20
	июль	1,32 ± 0,06*	0,49 ± 0,02*	0,88 ± 0,03*	2,69	2,06
	сентябрь	1,02 ± 0,04*	0,28 ± 0,01*	0,68 ± 0,02*	3,64	3,09

*Примечание – * – достоверные значения исследуемых показателей при $p \leq 0,05$.*

В результате сравнения данных по содержанию фотосинтетических пигментов в листьях березы повислой из контрольных условий и исследуемых промышленных предприятий выявлено, что в большинстве вариантов количество пигментов в контроле достоверно выше. Исключение составило содержание каротиноидов в условиях воздействия выбросов ТЭЦ-2 в сентябре в категории до 20 лет.

Наиболее интенсивное превышение содержания пигментов контрольных значений (в 1,26 раза) было характерно для хлорофилла *b* в мае у березы в группе до 20 лет, произрастающей вблизи ТЭЦ-2. Максимальное снижение содержания пигментов по сравнению с контролем – в 1,56–2,68 раза – наблюдалось в сентябре у березы повислой в группе после 30 лет вблизи ТЭЦ-2.

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

Результаты определения содержания фотосинтетических пигментов в листьях тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz. представлены в таблице 2.

Таблица 2. – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях тополя пирамидального *Populus pyramidalis* Roz.

Отбор проб		Содержание пигментов, мг/г сырой массы			$\frac{хлорофилл\ a}{хлорофилл\ b}$	$\frac{хлорофилл\ (a+b)}{каротиноиды}$
Место	Время	хлорофилл		каротиноиды		
		a	*b*			
до 20 лет						
контроль	май	1,80 ± 0,08	0,68 ± 0,02	1,17 ± 0,05	2,63	2,13
	июль	1,95 ± 0,09	0,83 ± 0,03	1,07 ± 0,04	2,33	2,59
	сентябрь	1,74 ± 0,08	0,49 ± 0,01	1,26 ± 0,05	3,58	1,76
20–30 лет						
контроль	май	1,49 ± 0,06	0,67 ± 0,02	1,01 ± 0,04	2,24	2,13
	июль	1,68 ± 0,07	0,60 ± 0,02	0,95 ± 0,04	2,78	2,41
	сентябрь	1,86 ± 0,08	0,69 ± 0,02	1,43 ± 0,06	2,68	1,78
ОАО «ГЗЛиН»	май	0,60±0,02*	0,21 ± 0,01*	0,37 ± 0,01*	2,86	2,19
	июль	1,27 ± 0,05*	0,41 ± 0,01*	0,97 ± 0,04	3,10	1,73
	сентябрь	1,19 ± 0,05*	0,30 ± 0,01*	0,85 ± 0,03*	3,96	1,75
более 30 лет						
кон-троль	май	1,61 ± 0,07	0,58 ± 0,02	1,04 ± 0,04	2,77	2,11
	июль	1,92 ± 0,09	0,94 ± 0,04	1,24 ± 0,05	2,04	2,31
	сентябрь	2,47 ± 0,10	0,99 ± 0,04	2,0 ± 0,09	2,50	1,73

Окончание таблицы 2

ОАО «ГЗЛиН»	май	1,15 ± 0,05*	0,36 ± 0,01*	0,88 ± 0,03*	3,19	1,72
	июль	0,96 ± 0,04*	0,30 ± 0,01*	0,54 ± 0,02*	3,20	3,13
	сентябрь	1,88 ± 0,08*	0,51 ± 0,02*	1,32 ± 0,06*	3,69	1,81
ТЭЦ-2	май	1,30 ± 0,06*	0,42 ± 0,02*	0,84 ± 0,03*	3,10	2,05
	июль	1,06 ± 0,04*	0,40 ± 0,02*	0,65 ± 0,02*	2,65	2,24
	сентябрь	1,17 ± 0,06*	0,44 ± 0,02*	0,79 ± 0,03*	2,66	2,73

*Примечание – * – достоверные значения исследуемых показателей при $p \leq 0,05$.*

В окружении ОАО «ГЗЛиН» наблюдалось повышенное содержание пигментов в группе после 30 лет в мае и августе; сезонная динамика содержания пигментов фотосинтеза в листьях тополя пирамидального, произрастающего в контрольной зоне, характеризовалась повышенным содержанием пигментов в возрастной группе до 20 лет по сравнению с группой после 30 лет в мае и июле, а далее, в сентябре, происходило снижение уровня пигментов у молодых представителей (таблица 2).

Представители группы 20–30 лет во всех зонах и более 30 лет – в пределах контроля и ОАО «ГЗЛиН» характеризовались повышенным количеством пигментов в сентябре по сравнению с маем.

В результате сравнения данных по содержанию фотосинтетических пигментов в листьях тополя пирамидального из контрольных условий и исследуемых промышленных предприятий выявлено, что в большинстве вариантов количество пигментов в контроле было выше. Исключение составило содержание каротиноидов в возрастной группе 20–30 лет в условиях воздействия выбросов ОАО «ГЗЛиН» в июле.

Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о наличии достоверных различий между выборками значений количества пигментов тополя пирамидального в контроле и вблизи промышленных предприятий ($F_{факт.}$ (1, 16) = 13,66 ÷ 688,6; $F_{крит.}$ (1, 16) = = 4,49 при $p \leq 0,05$).

Результаты определения содержания фотосинтетических пигментов в листьях клена остролистного *Acer platanoides* L. представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях клена остролистного *Acer platanoides* L.

Отбор проб		Содержание пигментов, мг/г сырой массы			$\frac{хлорофилл\ a}{хлорофилл\ b}$	$\frac{хлорофилл\ (a+b)}{каротиноиды}$
Место	Время	хлорофилл		каротиноиды		
		a	*b*			
до 20 лет						
контроль	май	2,85 ± 0,12	1,13 ± 0,05	1,52 ± 0,07	2,52	2,19
	июль	2,79 ± 0,13	0,97 ± 0,04	1,83 ± 0,08	2,86	2,06
	сентябрь	2,73 ± 0,12	1,20 ± 0,05	1,50 ± 0,07	2,28	2,61
ОАО «ГЗЛиН»	май	1,08 ± 0,04*	0,36 ± 0,02*	0,42 ± 0,01*	2,97	3,41
	июль	1,31 ± 0,06*	0,43 ± 0,01*	0,74 ± 0,03*	3,05	2,35
	сентябрь	2,27 ± 0,10*	1,09 ± 0,04*	1,31 ± 0,06*	2,09	2,56
ТЭЦ-2	май	1,66 ± 0,07*	0,65 ± 0,02*	0,94 ± 0,04*	2,55	1,71
	июль	1,65 ± 0,07*	0,58 ± 0,02*	0,97 ± 0,04*	2,84	2,30
	сентябрь	1,71 ± 0,08*	0,64 ± 0,02*	1,02 ± 0,04*	2,67	2,13
20–30 лет						
контроль	май	2,96 ± 0,13	1,42 ± 0,06	1,69 ± 0,07	2,08	2,31
	июль	2,96 ± 0,14	1,41 ± 0,06	1,74 ± 0,08	2,10	2,51
	сентябрь	2,75 ± 0,13	1,65 ± 0,07	1,50 ± 0,07	1,66	2,93

Окончание таблицы 3

ОАО «ГЗЛиН»	май	1,51 ± 0,07*	0,51 ± 0,02*	0,89 ±0,03*	2,97	2,27
	июль	1,97 ± 0,08*	0,60 ± 0,02*	1,03 ± 0,04*	3,28	2,50
	сентябрь	2,74 ± 0,13	1,13 ± 0,05*	1,49 ± 0,05	2,35	2,60
ТЭЦ-2	май	1,49 ± 0,06*	0,57 ± 0,02*	0,98 ± 0,04*	2,61	1,94
	июль	1,98 ± 0,09*	0,79 ± 0,02*	1,05 ± 0,04*	3,03	2,50
	сентябрь	2,57 ± 0,10*	1,24 ± 0,05*	1,73 ± 0,04*	2,67	2,13
более 30 лет						
контроль	май	2,67 ± 0,11	1,31 ± 0,06	1,44 ± 0,06	2,04	2,09
	июль	2,53 ± 0,10	1,07 ± 0,04	1,25 ± 0,05	2,35	2,87
	сентябрь	2,82 ± 0,13	1,42 ± 0,06	1,47 ± 0,06	1,99	2,88
ОАО «ГЗЛиН»	май	2,14 ± 0,10*	1,22 ± 0,05*	1,01 ± 0,04*	1,76	3,32
	июль	2,21 ± 0,10*	0,97 ± 0,04*	1,76 ± 0,08*	2,28	2,24
	сентябрь	1,90 ± 0,09*	0,67 ± 0,02*	0,98 ± 0,04*	2,85	2,63
ТЭЦ-2	май	1,98 ± 0,09*	0,79 ± 0,02*	0,99 ± 0,04*	2,51	3,15
	июль	2,01 ± 0,08*	0,82 ± 0,03*	1,03 ± 0,04*	2,45	2,74
	сентябрь	1,42 ± 0,06*	0,61 ± 0,02*	0,91 ± 0,04*	2,32	2,68

*Примечание – * – достоверные значения исследуемых показателей при $p \leq 0,05$.*

В сентябре у представителей возрастной группы до 20 лет содержание пигментов фотосинтеза превышало категорию более 30 лет в зоне влияния ОАО «ГЗЛиН» и ТЭЦ-2, а в мае и июле, наоборот, было ниже в группе до 20 лет.

При произрастании на контрольной территории в начале периода вегетации и его середине клен остролистный в возрасте до 20 лет отличался более высоким количеством пигментов, тогда как в сентябре этот показатель у представителей данной категории был ниже, чем в группе более 30 лет.

Клен остролистный в группе более 30 лет характеризовался особенностью повышенного содержания фотосинтетических пигментов в мае по сравнению с сентябрем на территориях ОАО «ГЗЛиН» и ТЭЦ-2 и более высоким уровнем пигментов в сентябре по сравнению с маем при произрастании на контрольной территории. Представители от 20 до 30 лет отличались повышенным содержанием пигментов в мае в контроле и в сентябре – в условиях развития вблизи ТЭЦ-2.

В результате сравнения данных по содержанию фотосинтетических пигментов в листьях тополя пирамидального из контрольных условий и исследуемых промышленных предприятий выявлено, что в большинстве вариантов количество пигментов в контроле было выше. Исключение составило содержание хлорофилла *a* и каротиноидов в сентябре 2019 г. в группе 20–30 лет вблизи ОАО «ГЗЛиН».

Наиболее интенсивное превышение содержания пигментов контрольных значений (в 1,22 раза) было характерно для каротиноидов в июле у клена остролистного в группе после 30 лет, произрастающего вблизи ОАО «ГЗЛиН».

Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о наличии достоверных различий между выборками значений количества пигментов клена остролистного в контроле и вблизи промышленных предприятий ($F_{факт.}$ (1, 16) = 7,50 ÷ 218,70; $F_{крит.}$ (1, 16) = = 4,49 при $p \leq 0,05$).

Результаты определения содержания фотосинтетических пигментов в листьях липы мелколистной *Tilia cordata* Mill. представлены в таблице 4.

Таблица 4. – Содержание фотосинтетических пигментов в листьях липы мелколистной *Tilia cordata* Mill.

Отбор проб		Содержание пигментов, мг/г сырой массы			$\frac{хлорофилл\ a}{хлорофилл\ b}$	$\frac{хлорофилл\ (a+b)}{каротиноиды}$
Место	Время	хлорофилл		каротиноиды		
		a	*b*			
до 20 лет						
контроль	май	2,37 ± 0,06	0,81 ± 0,01	1,47 ± 0,02	2,93	2,17
	июль	3,14 ± 0,15	1,31 ± 0,06	1,62 ± 0,07	2,39	2,15
	сентябрь	2,66 ± 0,12	1,48 ± 0,06	1,61 ± 0,07	1,79	3,88
ОАО «ГЗЛиН»	май	2,15 ± 0,10*	1,06 ± 0,04*	1,25 ± 0,06*	2,03	2,57
	июль	3,40 ± 0,15*	1,57 ± 0,07*	2,01 ± 0,09*	2,17	2,47
	сентябрь	1,72 ± 0,08*	0,52 ± 0,02*	0,84 ± 0,03*	3,30	2,66
ТЭЦ-2	май	3,15 ± 0,04*	1,45 ± 0,01*	1,95 ± 0,01*	2,17	2,36
	июль	1,98 ± 0,09*	0,87 ± 0,03*	1,10 ± 0,05*	2,28	2,59
	сентябрь	2,07 ± 0,08*	1,01 ± 0,04*	1,14 ± 0,05*	2,05	3,05
20–30 лет						
контроль	май	2,44 ± 0,06	0,96 ± 0,01	1,54 ± 0,02	2,54	2,70
	июль	2,61 ± 0,12	1,18 ± 0,05	1,26 ± 0,05	2,21	2,45
	сентябрь	2,08 ± 0,08	1,16 ± 0,05	1,26 ± 0,05	1,79	3,42
ОАО «ГЗЛиН»	май	1,80 ± 0,08*	0,76 ± 0,03*	1,04 ± 0,04*	2,37	2,46
	июль	1,68 ± 0,07*	0,60 ± 0,02*	1,01 ± 0,04*	2,80	2,26
	сентябрь	1,90 ± 0,09*	0,80 ± 0,03*	1,07 ± 0,04*	2,38	2,27
ТЭЦ-2	май	2,02 ± 0,02*	0,84 ± 0,01*	1,24 ± 0,01*	2,40	2,31
	июль	1,96 ± 0,07*	0,86 ± 0,03*	1,09 ± 0,04*	2,28	2,59
	сентябрь	2,42 ± 0,11*	1,06 ± 0,04*	1,25 ± 0,05*	2,28	2,50
более 30 лет						
контроль	май	2,51 ± 0,07	0,99 ± 0,01	1,56 ± 0,02	2,54	2,24
	июль	2,62 ± 0,10	1,10 ± 0,05	1,58 ± 0,07	2,38	2,35
	сентябрь	2,53 ± 0,12	1,54 ± 0,07	1,49 ± 0,06	1,64	2,72
ОАО «ГЗЛиН»	май	1,66 ± 0,07*	0,60 ± 0,03*	1,04 ± 0,04*	2,77	2,18
	июль	1,99 ± 0,09*	0,85 ± 0,02*	1,23 ± 0,05*	2,34	2,31
	сентябрь	1,99 ± 0,08*	0,85 ± 0,03*	1,13 ± 0,05*	2,34	2,50
ТЭЦ-2	май	1,91 ± 0,04*	0,76 ± 0,02*	1,06 ± 0,02*	2,51	2,52
	июль	3,04 ± 0,14*	1,35 ± 0,06*	1,84 ± 0,08*	2,25	1,34
	сентябрь	1,93 ± 0,08*	0,78 ± 0,03*	1,0 ± 0,04*	2,47	2,61

Липа мелколистная в отличие от остальных изучаемых древесных растений в меньшей степени характеризовалась наличием каких-либо тенденций изменений в содержании пигментов фотосинтеза. Так, в листьях липы мелколистной, произрастающей в окружении промышленных предприятий,в мае наблюдалась закономерность роста содержания пигментов фотосинтеза от возрастной группы более 30 лет к представителям до 20 лет. На контрольной территории в начале периода вегетации липа мелколистная в возрасте после 30 лет отличалась более высоким количеством пигментов, тогда как далее в сентябре этот показатель у представителей данной категории был ниже, чем в группе до 20 лет.

Тенденция снижения содержания фотосинтетических пигментов в сентябре по сравнению с маем наблюдалась на территориях ОАО «ГЗЛиН» и ТЭЦ-2 в группе до 20 лет. В группах 20–30 лет и более 30 лет в сентябре содержание пигментов было выше, чем в мае при росте в окружении ОАО «ГЗЛиН» и ТЭЦ-2.

В результате сравнения данных по содержанию фотосинтетических пигментов в листьях из контрольных условий и исследуемых промышленных предприятий выявлено, что в большинстве вариантов количество пигментов в контроле было выше. Исключение составило содержание хлорофилла *b* в 2019 г. в возрастной группе до 20 лет в мае и всех пигментов в июле в условиях воздействия выбросов ОАО «ГЗЛиН», а также количество всех пигментов вблизи ТЭЦ-2 в мае. Представители липы мелколистной от 20 до 30 лет в 2019 г. отличались более высоким по сравнению с контролем содержанием хлорофилла *a* в сентябре вблизи ТЭЦ-2, а группа более 30 лет – всех пигментов в июле на этой же территории.

Наиболее значительное превышение содержания пигментов контрольных значений (в 1,79 раза) было характерно для хлорофилла *b* в мае 2019 г. у липы мелколистной в группе до 20 лет, произрастающей вблизи ТЭЦ-2. Максимальное снижение содержания пигментов по сравнению с контролем – в 2,41–3,78 раза – наблюдалось в мае 2018 г. у липы мелколистной в группе после 30 лет вблизи ОАО «ГЗЛиН», а минимальное – в 1,14–1,24 раза – в мае 2019 г. в группе 20–30 лет на территории ТЭЦ-2.

Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о наличии достоверных различий между выборками значений количества пигментов липы мелколистной в контроле и вблизи промышленных предприятий ($F_{факт.}$ (1, 16) = 21,08 ÷ 277,44; $F_{крит.}$ (1, 16) = = 4,49 при $p \leq 0,05$).

В целом, если сравнивать условия произрастания древесных растений на двух исследуемых территориях, то за исследуемый период у березы повислой, клена остролистного и липы мелколистной в большинстве вариантов наблюдалось более низкое содержание пигментов фотосинтеза по сравнению с контрольной территорией под влиянием выбросов ОАО «ГЗЛиН», содержащих в своем составе о-ксилол и бутилацета, а у тополя пирамидального – на территории ТЭЦ-2, в выбросах которой присутствует бенз(а)пирен.

Заключение

Характер и уровень содержания хлорофиллов и каротиноидов в пробах листьев древесных растений находился в определенной зависимости от их возраста.

У березы повислой в большинстве вариантов наблюдалось повышенное содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях представителей возрастной группы до 20 лет на протяжении всего периода вегетации; представители этой группы характеризовались повышенным количеством пигментов в мае по сравнению с сентябрем; в остальных вариантах для какой-либо одной возрастной группы на всех исследуемых территориях такая тенденция выявлена не была.

В техногенных условиях у тополя пирамидального наблюдалось повышенное содержание пигментов в группе после 30 лет в мае и августе; в контрольной зоне, наоборот, повышенное содержание пигментов приходилось на категорию до 20 лет в мае и июле. Тополь пирамидальный в возрасте 20–30 лет во всех зонах и более 30 лет – в пределах контроля и ОАО «ГЗЛиН» характеризовался повышенным количеством пигментов в сентябре по сравнению с маем.

У представителей клена остролистного возрастной группы до 20 лет содержание пигментов фотосинтеза в сентябре превышало категорию более 30 лет в зоне влияния ОАО «ГЗЛиН» и ТЭЦ-2, а в мае и июле, наоборот, было ниже в группе до 20 лет. Клен остролистный в группе более 30 лет характеризовался особенностью повышенного содержания фотосинтетических пигментов в мае по сравнению с сентябрем на территориях ОАО «ГЗЛиН» и ТЭЦ-2. Представители от 20 до 30 лет отличались повышенным содержанием пигментов в мае в контроле и в сентябре – в условиях развития вблизи ТЭЦ-2.

Липа мелколистная в отличие от остальных изучаемых древесных растений в меньшей степени характеризовалась наличием каких-либо тенденций изменений в содержании пигментов фотосинтеза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фотосинтетичні пігменти рослин *Carex hirta* L. за умов нафтового забруднення грунту / О. І. Терек [та ін.] // Физиология и биохимия культур. растений. – 2008. – № 3. – С. 238–244.

2. Ланкин, А. В. Механизмы токсического действия полициклических ароматических углеводородов на фотосинтетический аппарат : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.01.15 / А. В. Ланкин ; Ин-т физиологии растений им. К. А. Тимирязева РАН. – М., 2016. – 22 с.

3. Singh, R. Fluoranthene, a polycyclic aromatic hydrocarbon, inhibits light as well as dark reactions of photosynthesis in wheat (*Triticum aestivum*) / R. Singh, T. A. Jajoo // Ecotoxicology and Environ. Safety. – 2014. – Vol. 109. – P. 110–115.

4. Khpalwakab, W. Individual and combined effects of fluoranthene, phenanthrene, mannitol and sulfuric acid on marigold (*Calendula officinalis*) / W. Khpalwakab, S. M. Abdeldayemac, H. Sakugawa // Ecotoxicology and Environ. Safety. – 2018. – Vol. 148. – P. 834–841.

5. Uptake and phytotoxicity of anthracene and benzo[k]fluoranthene applied to the leaves of celery plants (*Apium graveolens var. secalinum* L.) / J. Wieczoreka [et al.] // Ecotoxicology and Environ. Safety. – 2015. – Vol. 115. – P. 19–25.

6. Prustya, B. A. K. Dust accumulation and leaf pigment content in vegetation near the national highway at Sambalpur, Orissa, India / B. A. K. Prustya, P. C. Mishraa, P. A. Azeezb // Ecotoxicology and Environ. Safety. – 2005. – Vol. 60. – P. 228–235.

7. Effects of copper on the growth, antioxidant enzymes and photosynthesis of spinach seedlings / Q. Gongabl [et al.] // Ecotoxicology and Environ. Safety. – 2019. – Vol. 171. – P. 771–780.

8. Говорова, А. Ф. Структурно-функциональные изменения растительности в условиях техногенного загрязнения на Кольском полуострове (на примере комбината «Североникель») : автореф. дис. … канд. геогр. наук : 25.00.36 / А. Ф. Говорова ; МГУ им. М. В. Ломоносова. – М., 2004. – 23 с.

9. Коротченко, И. С. Влияние тяжелых металлов на содержание фотосинтетических пигментов в листьях моркови / И. С. Коротченко // Вестн. Краснояр. гос. аграр. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 86–91.

10. Изучение параметров флуоресценции хлорофилла древесных растений в условиях различной транспортной нагрузки / М. Ю. Алиева [и др.] // Изв. Самар. науч. центра РАН. – 2014. – № 1 (3). – С. 701–704.

11. Двоеглазова, А. А. Эколого-биологические особенности древесных и травянистых растений в насаждениях урбаноэкосистемы крупного промышленного центра (на примере г. Ижевска) : автореф. дис. … канд. биол. наук : 03.02.08 / А. А. Двоеглазова ; Ижевс. гос. с.-х. акад. – Уфа, 2009. – 21 с.

12. Photosynthetic response of maize plants against cadmium and paraquat impact / G. Chaneva [et al.] // Water, Air and Soil Pollut. – 2010. – № 1–4. – P. 287–293.

13. Гулиев, Р. Б. Оценка содержания хлорофилла в растениях, подвергнутых антропогенному воздействию, спектрометрическим методом / Р. Б. Гулиев, Б. М. Азизов, А. А. Аббасзаде // Оптика и спектроскопия. – 2009. – № 3. – С. 514–517.

14. Заплатин, Б. П. Биотестирование атмосферных загрязнений по содержанию хлорофилла и активности полифенолоксидазы / Б. П. Заплатин // Изв. Пенз. гос. пед. ун-та. – 2008. – № 10. – С. 82–87.

15. Effect of Pb, Zn and their interaction on chlorophyll content and antioxidant protective system in *Houttuyina cordata* / Li Zheng-Zheng [et al.] // Acta Ecol. Sin. – 2007. – Nr 12. – P. 5441–5446.

16. Shi-sheng, K. Effect of cupper on the photosynthesis and oxidative metabolism of *Amaranthus tricolor* seedlings / K. Shi-sheng // Agr. Sci. China. – 2007. – Nr 10. – P. 1182–1192.

17. Бухарина, И. Л. Анализ содержания фотосинтетических пигментов в листьях древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Набережные Челны) / И. Л. Бухарина, П. А. Кузьмин, И. И. Гибадулина // Вестн. Удмурт. ун-та. – 2013. – № 1. – С. 20–25.

18. Response of gas-exchange characteristics and chlorophyll fluorescence to acute sulfur dioxide exposure in landscape plants / J. Duan [et al.] // Ecotoxicology and Environ. Safety. – 2019. – Vol. 171. – P. 122–129.

19. Кабашникова, Л. Ф. Фотосинтетический аппарат и потенциал продуктивности хлебных злаков / Л. Ф. Кабашникова. – Минск : Беларус. навука, 2011. – 327 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 21.04.2020

НАВУКІ АБ ЗЯМЛІ

УДК 712 : 911.375.4 : 502 (476.5)

П. А. Галкин[1], И. А. Красовская[2], А. Н. Галкин[3]

[1]ст. преподаватель каф. информационных технологий с курсом электронной библиотеки Витебского государственного медицинского университета

[2]канд. геол.-минерал. наук, доц., нач. научно-исследовательского сектора Витебского государственного университета имени П. М. Машерова

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

e-mail: galkin-alexandr@yndex.ru

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПЛАНИРОВОЧНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВИТЕБСКА И ЕЕ РОЛЬ В ОЦЕНКЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ ГОРОДА

На основе анализа планировочной структуры территории Витебска проведено ее функциональное зонирование. Установлено, что основной частью пространственной организации города являются промышленная и селитебная зоны, отличающиеся между собой как степенью негативного воздействия на состояние всех компонентов природно-технической геоэкосистемы, так и санирующими функциями.

GALKIN P. A., KRASOVSKAYA I. A., GALKIN A. N.

FUNCTIONAL PLANNING ORGANIZATION OF VITEBSK AND ITS ROLE IN THE ASSESSMENT OF THE GEOECOLOGICAL SITUATION OF THE CITY

Based on the analysis of the planning structure of the territory of Vitebsk, its functional zoning was carried out. It has been established that the main part of the spatial organization of the city is the industrial and residential zones, which differ from each other both in the degree of negative impact on the state of all components of the natural-technical geoecosystem and in sanitizing functions.

Введение

Город Витебск, как и многие современные крупные города, располагающий высоким промышленно-энергетическим потенциалом, разветвленными транспортной сетью и коммунальным хозяйством, оказывает значительное воздействие на формирующую его природную окружающую среду. В результате суммарного наложения различного рода воздействий на территории города сложился уникальный тип геоэкологической системы, где природная среда подвергается интенсивной техногенной трансформации, а ее состояние оценивается спецификой проявления ресурсной, геофизической, геохимической и геодинамической экологических функций.

Комплексная оценка геоэкологического состояния урбанизированной территории невозможна без ее функционального зонирования, типизации техногенных воздействий на компоненты природной среды, которые являются причиной возникновения физического, химического и биологического загрязнений этих компонентов [1].

Современный Витебск – это сложный комплекс территорий, занятых производственными предприятиями, жилыми районами, общественными центрами, местами отдыха на открытом воздухе, транспортными и инженерными сооружениями. Основные функции города стабильно материализуются на его территории, и со временем их не так просто изменить. Поэтому первый принцип, вносящий порядок и систему в планировочную организацию города – это функциональное зонирование, разделение города на части различного назначения по признаку ведущей функции (производство, жилье, социальные услуги, отдых и др.).

Материала и методы исследования

Исходными материалами для выполнения работы послужили опубликованные литературные источники, в том числе нормативно-правовые документы по территориальному планированию, генеральные планы Витебска, топографические карты и схемы различного масштаба, космофотоснимки, результаты натурных исследований кафедры географии Витебского государственного университета имени П. М. Машерова.

При исследовании использовались исторический, сравнительно-географический, экспертный, описательный, геоинформационный методы, а также метод функционального зонирования.

Результаты и их обсуждение

Идея функционального зонирования в градостроительстве не нова. Она возникла в начале XX в. как рационалистическая реакция против хаотического смешения на территории города жилищ, фабрик, заводов, складов, подъездных путей, неупорядоченно построенных во второй половине XIX – начале XX в. К середине XX столетия эта идея оформилась как ведущая градостроительная концепция, принципы функционального зонирования вошли в обоснование градостроительных планов и проектов, были закреплены в нормативных документах [2].

Ни одна из функций города, взятая в отдельности, не существует сама по себе. Чередование жизненных циклов труда, быта и отдыха – это основа городского уклада жизни. Поэтому планировочную структуру города нельзя свести к структурной организации функциональных зон и их элементов. Она определяется в первую очередь их рациональным взаимным расположением и возможностью создания постоянной, удобной и надежной взаимосвязи всех частей города [1].

Дифференциация территории города на структурные зоны, обладающие разной ценностью и характеризующиеся разными типологическими особенностями, – свойство всех городов мира. В основе функциональной организации территории города лежит принцип выделения территорий города, выполняющих однотипные функции [2].

Пространственная организация Витебска имеет сложную структуру, основной частью которой являются промышленная и селитебная зоны, отличающиеся степенью негативного воздействия на состояние всех компонентов природно-технической геоэкосистемы. Воздействие каждой зоны в значительной мере преобразует естественное состояние природной среды, трансформируя тем самым ее экологические функции.

Современный этап развития урбанизации в Витебске характеризуется значительными масштабами техногенных нагрузок и существенными различиями экономических и социальных условий в трансформированных районах города. В связи с этим актуально выявление взаимоотношений структуры городского хозяйства с дифференциальным характером и уровнем его воздействия на окружающую среду [1]. Изучение складывающихся изменений природных компонентов позволяет выявить определенные закономерности взаимодействия между окружающей природной средой и градостроительными объектами, интенсивность инженерно-геологических процессов и соответствующих процессов, проявляющихся в геосистемах и социотехносфере.

Воздействие на окружающую природную среду определяется тремя основными признаками: характером, интенсивностью и длительностью, – о которых можно судить по градостроительным характеристикам, предполагающим все три признака воздействия [3]. С точки зрения воздействия на природную среду существенны также такие показатели, как характер застройки (технический уровень исполнения, использование и современная оценка социальной ее значимости и т. п.), функциональное назначение застройки (жилье, производство, общественное назначение), пространственная струк-

тура застройки (плотность, этажность, распределение застроенных и открытых пространств и т. п.) [3; 4].

Функциональное зонирование и планировочная структура являются наиболее консервативными средоформирующими факторами, в связи с чем пространственная неоднородность полей загрязнения природных сред в пределах пятна городской застройки достаточно стабильна во времени [1].

Архитектурно-планировочная структура Витебска формировалась по принципам древнерусского градостроительства. Основу города составлял оборонительный замок (детинец), расположенный на высокой горе у слияния рек Западная Двина и Витьба. К замку примыкал вытянутый с запада на восток окольный город (посад), который был окружен Западной Двиной и ручьем – рукавом Витьбы. Во 2-й половине XIII – начале XIV в. Витебск имел развитую планировочную структуру. К этому времени окольный город был окружен деревянными оборонительными стенами, а в XIV в. они были заменены каменными [5]. Так образовалось два замка – Верхний (на месте детинца) и Нижний (на месте окольного города). К замкам примыкали неукрепленные слободы: с юга – Заручевская, с востока – Задунайская, с севера – Взгорская и с запада – Задвинская. В XVI в. Взгорская слобода была укреплена деревянными оборонительными сооружениями и стала третьим замком – Взгорским, за стенами которого застраивался новый посад. К XVII в. каждый замок имел замкнутую планировку со своим композиционным центром, а вместе они формировали единую архитектурно-планировочную структуру Витебска. Главенствующую роль играли башни и стены замков, которые определяли панораму со стороны реки и посадов, а также формировали силуэт Витебска. Дополняли этот силуэт, делали его более разнообразным культовые сооружения. Жилые одноэтажные дома служили фоном для культовых и крепостных построек [6; 7].

В 1773 г., после первого раздела Речи Посполитой, начались съемочные и планировочные работы по городам, в том числе и по Витебску. Утвержденный в 1778 г. план города в начале XIX в. был пересмотрен и составлен новый. Главная задача планировки Витебска состояла в том, чтобы развить исторически сложившийся центр города в определенную пространственную систему, учитывающую природные условия. Проект предусматривал пробивку через гущу жилых кварталов новой главной улицы, которая, начинаясь у центральной площади, должна была идти к северу от нее и затем завершаться новой торговой площадью. Городской пейзаж Витебска использовали не только при создании протяженного центра, параллельного реке, но и при застройке набережной высокого берега Западной Двины. Проект предусматривал также организацию ряда новых городских площадей в различных районах города.

Более активно город стал развиваться после строительства в 1866 г. железной дороги Рига – Орел. Происходит экономический подъем города, развивается промышленность, расширяется новое строительство.

В генеральных планах Витебска первой половины XX в. (1937–1938 гг.) планировочная структура исторической части города сохранялась и получала дальнейшее развитие. Новая застройка, несмотря на укрупненный по сравнению с сохранившейся исторической застройкой масштаб, не нарушила сложившуюся пространственную организацию [6; 7].

В годы Великой Отечественной войны около 93 % всех зданий и сооружений города были уничтожены. В 1946 г. был разработан новый генеральный план, согласно которому и велось восстановление города. Он предполагал сохранение преемственности сложившейся градостроительной композиции, которой всегда уделялось должное внимание. Однако застройка 60–70 гг. XX в. характеризуется отсутствием этой преемственности. На левом берегу Западной Двины по улицам Ленина, Пушкина, проспекту Фрунзе, на площади 1000-летия были построены жилые и общественные здания, размещение,

объемно-пространственное решение и архитектура фасадов которых не соответствовала эстетическим традициям формирования застройки в историческом центре. Если исторический центр – это мелкоквартальная планировочная структура, где преобладают 2–4-этажные жилые и общественные здания и сооружения, а примыкающие к нему кварталы представлены преимущественно плотной усадебной застройкой, то переходная и периферийная зоны характеризуются совершенно иным масштабом. Это крупные микрорайоны с характерными зданиями индустриального домостроения в 5–12 этажей, большие промышленные и коммунально-складские зоны, дачные массивы, практически слившиеся с городом, новые незавершенные районы усадебной застройки [6]. Утрата основных композиционных доминант исторической части города привела к потере уникальной пространственно-композиционной системы, создававшей характерный только для Витебска силуэт. Однако уже генеральным планом 1980 г. была предусмотрена активная реконструкция городских территорий, снос малоценной застройки, восстановление исторического центра. Много было сделано, но социально-экономические изменения последующих десятилетий существенно повлияли на возможность решать большие градостроительные задачи [7].

Современное развитие Витебска как центра расселения национального значения в территориальном аспекте обусловлено его положением по отношению к международной и национальной транспортной сети («каркасу» республики) – А (город находится в зоне влияния трансъевропейского транспортного коридора № 2 (Париж – Берлин – Варшава – Минск – Москва), на направлении перспективного трансъевропейского коридора № 9 (Хельсинки – Санкт-Петербург – Витебск – Гомель – Киев – Кишинев – Бухарест и далее на Грецию) и международной транспортной связи (Москва – Смоленск – Витебск – Даугавпилс – Рига), что позволяет рассматривать его как опорный город системы расселения республики) и национальной экологической сети – Б (экологическая система Витебщины включает элементы экологической сети межнационального уровня – долина р. Западная Двина, Суражский лесной массив, Полоцкая низина, Россонская и Освейская группы озер, Браславская гряда, что обусловливает определенные требования к дальнейшему функционированию Витебска в качестве крупного промышленного центра) [7].

Согласно новому генеральному плану застройки и развития Витебска 2015 г., который представляет из себя откорректированный вариант генплана 2003 г., жилые территории под многоквартирную застройку будут развиваться в основном в срединной и периферийной частях города, а также вдоль основных транспортных магистралей, а именно: доосвоение начатых районов строительства по разработанным градостроительным проектам, уплотнение и реконструкция в границах существующей городской черты, реконструкция общегородского центра, районы «Билево», «Тулово», «Лучоса», «Сокольники», «Руба» (рисунок 1).

Рисунок 1. – План Витебска и его окрестностей (по [8])

Усадебную застройку предполагается развивать в периферийной части города, в секторах между магистральными улицами, а также с постепенной реконструкцией ветхого усадебного фонда из центральной и срединной зоны (районы усадебной застройки «Тулово», «Бителево», «Орехово», «Аксановка», «Ольгово» и др.) [9].

В городе планируется сформировать непрерывный «зеленый каркас» на основе пойм рек Западная Двина, Лучоса, Витьба, ручьев Дунай и Гапеев, существующих и проектируемых парков, скверов, бульваров, зеленых зон и др. [7; 9].

Производственные и коммунально-складские территории предполагается развивать в трех основных производственных зонах: восточный сектор (в т. ч. СЭЗ «Витебск»), юго-западный сектор – въезд по Бешенковичскому шоссе, северо-западный сектор – между улицами Ленинградской и Титова; предусмотрены постепенная лик-видация и вынос неэффективных производств из центральной и срединной зоны Витебска для оптимизации экологических условий с заменой на жилую и общественную функцию [9].

В настоящее время транспортные потоки в Витебске следуют по проспектам Фрунзе, Московскому, Строителей, Черняховского, улицам Ленина, Титова, Ленинградской, Гагарина, М. Горького, Карла Маркса (рисунок 1), соединяя зоны высокой плотности химического загрязнения в промышленных узлах города с зонами повышенного уровня загрязнения окружающей среды магистралей и прилегающих к ним территорий. Кроме того, сложившаяся параллельно-полигональная улично-дорожная сеть города привела к увеличению транспортных потоков и, как следствие, формированию зон акустического дискомфорта вблизи жилых массивов. Для улучшения транспортной ситуации по новому генплану в Витебске планируется сформировать «Северную» хорду, проходящую по касательной к центру города: улицы Титова, Ленинградская, Гагарина – с мостовым переходом через Западную Двину и реконструкцией Полоцкого путепровода, и восточное полукольцо: улицы Терешковой и Петруся Бровки с выходом на Гагарина и далее в район парка имени Советской Армии (Мазурино) и район СЭЗ «Журжево» (рисунок 1) [9].

Согласно существующей планировке города в его пределах нами выделены три функционально-территориальные зоны (рисунок 2) [4]:

I. Промышленно-селитебные территории с преобладанием жилых микрорайонов и кварталов одноэтажной застройки и предприятий энергетики, станкостроения, фармацевтической, деревообрабатывающей и пищевой промышленности, железнодорожного транспорта.

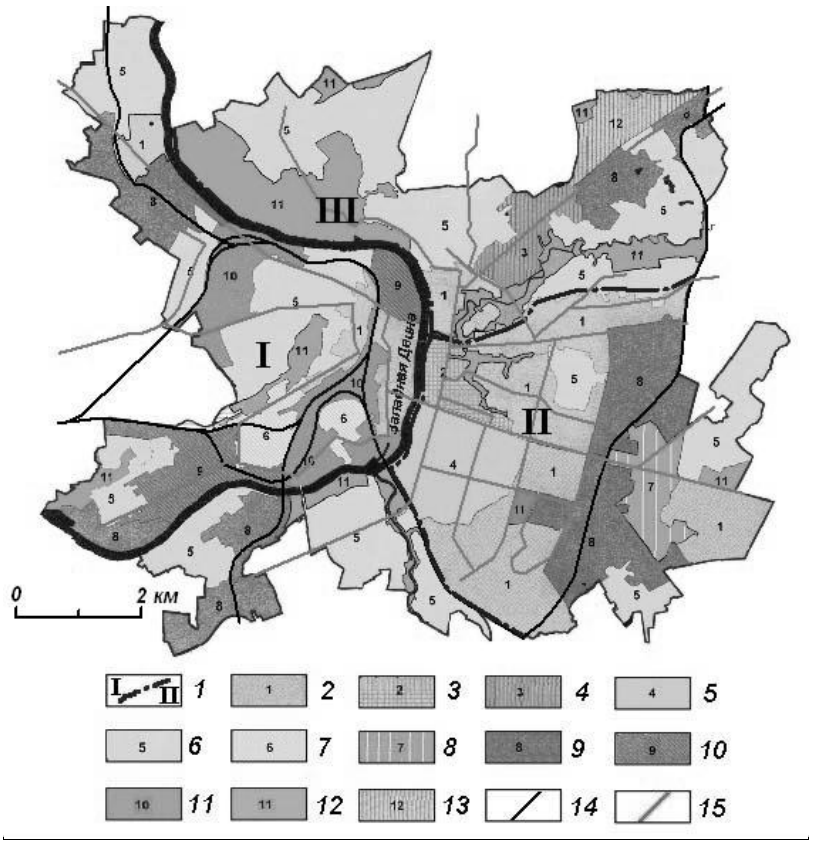
II. Промышленно-селитебные территории с преобладанием жилых микрорайонов и кварталов многоэтажной застройки и предприятий машиностроения, электротехники, пищевой промышленности, автотранспорта.

III. Территории преимущественно селитебного и ландшафтно-рекреационного назначения с включениями объектов легкой промышленности и предприятий по производству строительных материалов и пластмассовых изделий.

Границами между зонами служат природные геохимические барьеры, транспортные магистрали, границы ландшафтно-экологических зон.

В состав ***зоны I*** входят селитебные, промышленные, складские и транспортные территории, оказывающие негативное воздействие различной природы (физическое, физико-химическое, химическое) на состояние всех компонентов природной среды.

Превалирующее значение имеют территории промышленных объектов, протянувшиеся практически сплошной полосой по правобережью Западной Двины. Здесь расположены речной порт «Витречтранс», Витебская ТЭЦ, ОАО «Витебский завод радиодеталей «Монолит», ОАО «Витебский завод электроизмерительных приборов», ОАО «Вистан» (производство металлорежущих и деревообрабатывающих станков, станков с числовым программным обеспечением), ОАО «Витебскдрев» (производство древесноволокнистых и древесностружечных плит, деловой древесины и др.), ЧПУП «Витебская лесопилка» (производство пиломатериалов), ОАО «Тираспольский агротехсервис», ЧПТУП «Витстройтехмаш», ОАО «Витебский картонажно-полиграфический комбинат «Покровский», швейные производства ОАО «КИМ» и КУПП «Витебчанка», ОАО «Витебские ковры» (производство ковров и ковровых изделий), УП «Витебский меховой комбинат», ООО «Рубикон» (производство лекарственных средств), ОАО «Витебский маслоэкстракционный завод», ОАО «Витебский мясокомбинат», ОАО «Молоко», ОАО «Витебскхлебпром» (производство хлебобулочных и кондитерских изделий), ПУП «Витебский комбинат хлебопродуктов», ОАО «Витебский ликероводочный завод «Придвинье» и др.



***Функционально-территориальные зоны: I** – промышленно-селитебные территории с преобладанием жилых микрорайонов и кварталов одноэтажной застройки и предприятий энергетики, станкостроения, фармацевтической, деревообрабатывающей и пищевой промышленности, железнодорожного транспорта; **II** – промышленно-селитебные территории с преобладанием жилых микрорайонов и кварталов многоэтажной застройки и предприятий машиностроения, электротехники, пищевой промышленности, автотранспорта; **III** – территории преимущественно селитебного и ландшафтно-рекреационного назначения с включениями объектов легкой промышленности и предприятий по производству строительных материалов и пластмассовых изделий.*

1 – граница функционально-территориальных зон и их индекс.

***Типы застройки**: 2 – многоквартирная жилая и общественная; 3 – многоквартирная жилая и общественная с озелененными территориями; 4 – многоквартирная жилая и общественная с промышленной застройкой; 5 – многоквартирная жилая и общественная в сочетании с усадебной; 6 – жилая усадебная и дачная; 7 – жилая усадебная в сочетании с многоквартирной и общественной; 8 – жилая усадебная и дачная с озелененными территориями; 9 – промышленная и коммунально-складская; 10 – промышленная и коммунально-складская в сочетании с жилой; 11 – промышленная и коммунально-складская с озелененными территориями; 12 – озелененные территории (лесопарки, парки, лесные и заболоченные массивы и другие экосистемы нехозяйственного назначения); 13 – озелененные территории с промышленной застройкой. 14 – железные дороги; 15 – автодороги и магистрали*

Рисунок 2. – Схематическая карта функционального зонирования территории Витебска

В целом следует отметить, что в этой зоне сосредоточено максимальное количество стационарных источников загрязнения окружающей природной среды города. Железные дороги и городские автомагистрали: Бешенковичское шоссе, улицы М. Горького, Герцена, К. Маркса, Комсомольская, Ленинградская, Титова, пересекающие зону в направлениях с востока на запад и севера на юг, – являются основными планировочными осями зоны и активными загрязнителями окружающей среды линейными передвижными источниками (транспортом).

Санирующие функции территории зоны относительно снижены. Природная составляющая в ее ландшафтах представлена зелеными насаждениями специального назначения и ограниченного пользования (озеленение санитарно-экологических зон, приусадебные участки, озеленение микрорайонов, долина р. Лучоса), общая доля которых составляет около 10 % от общей площади зоны (рисунок 2).

Зона II объединяет преимущественно селитебные территории с многоквартирной жилой и общественной застройкой в сочетании с промышленными и транспортными объектами, оказывающими негативное воздействие различной природы на состояние отдельных компонентов природной среды.

К промышленным источникам техногенных воздействий на компоненты природной среды в этой зоне относятся РУП «Витебскэнерго», мини-ТЭЦ «Восточная», ОАО «Визас» (производство металлорежущих и деревообрабатывающих станков, станков с числовым программным управлением), ОАО «Витязь» (производство телевизоров, пылесосов, медтехники, тротуарной плитки, бордюрного камня, пенополистирольные блоки), ООО «ПО «Энергокомплект» (производство кабеля, проводов различного назначения), ОАО «Витебский мотороремонтный завод» (ремонт тракторно-комбайновых двигателей, производство сельскохозяйственной техники), КПУП «Кондитерская фабрика «Витьба» (производство кондитерских изделий) и другие предприятия и организации.

Кроме того, интенсивными источниками воздействий здесь служат автобусный парк № 1, троллейбусный и трамвайный парки ОАО «Витебскоблавтотранс», а также городские автомагистрали: проспекты Фрунзе, Московский, Строителей, Победы, Черняховского, улицы Ленина, Терешковой, Правды, П. Бровки, Чкалова, Воинов-интернационалистов и др. Выбросы от транспортных источников локализуются преимущественно на их же территории.

Селитебные районы занимают более половины всей площади зоны и включают территории, отличные по условиям застройки и природным особенностям. Так, например, если западную часть зоны занимают районы многоквартирной жилой в сочетании с усадебной и общественной застроек с озелененными территориями, где наблюдается проявление ряда негативных экзогенных геологических и инженерно-геологических процессов, таких, как плоскостной смыв и овражная эрозия, суффозия, крип, оползни, подтопление, то для восточной части зоны характерно размещение преимущественно многоквартирной жилой и общественной застроек с ограниченным распространением озелененных территорий и проявлением негативных процессов, превалирующим среди которых является подтопление.

Санирующие функции зоны в настоящее время имеют тенденцию к снижению прежде всего за счет формирования многоэтажной застройки на сносе индивидуальной с приусадебными участками.

Зона III преимущественно селитебного и ландшафтно-рекреационного назначения с включением отдельных промышленных объектов, оказывающих различные техногенные воздействия на состояние отдельных компонентов природной среды. К основным источникам воздействий в этой зоне относятся ОАО «Знамя Индустриализации» (производство швейных изделий), Белорусская кожевенно-обувная компания «Марко», УП «СанМарко», ОАО «Красный Октябрь», УП «ВитМа» (производство обуви и кожгалантерейных изделий), СООО «Белвест» (производство кожаной обуви), ОАО «Керамика» (производство строительного кирпича и керамических труб), ООО «Альянспласт» (производство тары из полипропилена), ИПУП «ВИК – здоровье животных» (производство фармацевтических препаратов).

Санирующие функции зоны определяются двумя факторами: природным комплексом, состоящим из лесопарка в Мазурино (парк имени Советской Армии), озелененных массивов в долине р. Витьба и других экосистем нехозяйственного назначения

(рисунок 2), которые позитивно влияют на состояние природных сред, и микроклиматическим эффектом.

Заключение

Таким образом, основной частью пространственной организации города являются промышленная и селитебная зоны. В них прослеживаются наиболее тесные взаимодействия между экономикой, населением, социальными отношениями и природной средой.

Промышленные и гражданские объекты, сконцентрированные в этих зонах, обусловливают разнообразные изменения компонентов природной среды, приводящие к трансформации ее экологических функций, которые часто оказываются неблагоприятными не только для состояния и функционирования самих объектов инфраструктуры, но и для здоровья человека и его жизнедеятельности в целом. Воздействие каждой зоны, преобразуя естественное состояние окружающей природной среды, является причиной возникновения физического, физико-химического и химического загрязнений ее компонентов. При этом следует отметить, что вносимый ими вклад в геоэкологическое состояние исследуемой территории имеет различный характер.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красовская, И. А. Оценка состояния эколого-геологических условий урбанизированных территорий / И. А. Красовская, А. Н. Галкин. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2007. – 165 с.

2. Новиков, А. А. Физико-географические и социально-экономические аспекты формирования функциональных зон г. Севастополя / А. А. Новиков, А. М. Новикова // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 2. – С. 675–680.

3. Красовская, И. А. Особенности территорий различного функционального использования в связи с оценкой эколого-геологической обстановки (на примере г. Гомеля) / И. А. Красовская, В. А. Королев // Экологическая геология и рациональное недропользование (Экогеология-2003) : материалы III междунар. науч. конф. (Науч. чтения им. акад. Ф. Ю. Левинсона-Лессинга), Санкт-Петербург, 6–10 окт. 2003 г. / Санкт-Петерб. гос. ун-т ; редкол. : В. В. Куриленко (отв. ред.) [и др.]. – СПб. : Изд-во Санкт-Петерб. гос. ун-та, 2003. – С. 55–57.

4. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений : [свод правил] : СП 42.13330.2011 : актуализир. ред. СНиП 2.07.01–89 / Минрегион России. – М. : ОАО «ЦПП», 2011. – 86 с.

5. Бубенько, Т. С. Средневековый Витебск. Посад – Нижний замок (X – первая половина XIV в.) / Т. С. Бубенько. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2004. – 278 с.

6. Витебск : энцикл. справ. / Белорус. Совет. Энцикл. ; редкол.: И. П. Шамякин (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БелСЭ. – 1988. – 407 с.

7. Прокопович, Т. Витебск: Северная Пальмира Беларуси / Т. Прокопович // Архитектура и стр-во. – 2003. – № 4. – С. 23–28.

8. Карта города с достопримечательностями [Электронный ресурс] // Turtella.ru. Путеводитель. – Режим доступа: https://gid.turtella.ru/Belarus/Vitebsk/map/. – Дата доступа: 26.11.2019.

9. Опубликован проект генерального плана Витебска [Электронный ресурс] // Народныя навіны Віцебска. – Режим доступа: https://news.vitebsk.cc/2015/02/23/opublikovan-proekt-generalnogo-plana-vitebska/. – Дата доступа: 26.11.2019.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 20.05.2020

УДК 551. 43 (476-14)

Н. Ф. Гречаник
канд. геогр. наук, доц., доц. каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
e-mail: hrachanik55@mail.ru

ИСКОРНЫЕ ФОРМЫ РЕЛЬЕФА НА ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОГО ПОЛЕСЬЯ

На основе фактического материала, собранного во время полевых исследований, охарактеризованы своеобразные формы рельефа – искори. Данные формы рельефа сформировались в результате падения крупных деревьев в лесных массивах на территории Брестского Полесья. Охарактеризованы строение, механизмы образования и динамика развития искорных форм рельефа. Выделены закономерности распространения, длительность существования искорных форм на территории региона.

GRACHANIK N. F.
SPARKING RELIEF FORMS IN THE TERRITORY OF BREST POLESIE

In the article, on the basis of factual material collected during field research, peculiar forms of relief are characterized – iskori. These landforms were formed as a result of the fall of large trees in the forests on the territory of Brest Polesie. The structure, mechanisms of formation and dynamics of development of spark forms of relief are characterized. The patterns of distribution, the duration of existence of spark forms in the region are highlighted.

Введение

На основании физико-географического районирования в европейской десятиричной системе Брестское Полесье включает Высоковскую, Малоритскую равнины и равнину Загородье [1]. Брестское Полесье расположено на юго-западе Беларуси и занимает площадь около 5 тыс. км^2. В пределах этой территории широко распространены современные искорные формы рельефа. Искорные формы рельефа по генезису относятся к биогенным (фитогенным) формам, которые возникают в результате падения деревьев под воздействием ветровой энергии или самопроизвольного падения. По-другому они называются ветровальными формами или вывотами (выворотнями). При падении дерева его корневая система увлекает за собой определенный объем горных пород (грунта), и на месте бывшего произрастания образуется деструктивная форма рельефа – искорная яма определенных размеров. Одновременно с этим корневая система вместе с захваченной ей массой породы образует положительную форму рельефа – искорную стенку и искорный бугор. В некоторых случаях, если падает одновременно несколько деревьев, произраставших рядом, возникают деструктивные формы в виде траншей и положительные – земляные стены.

Одно из первых описаний геоморфологических последствий падения деревьев в лесу выполнено И. П. Герасимовым [2]. Подробную характеристику процесса движения поверхностного грунта на склонах вследствие ветровалов дал С. В. Лютцау. Он произвел подсчет массы материала, смещенного по склону искорными процессами на Средне-Сибирском плоскогорье. Такой своеобразный механизм смещения он назвал «корневым сносом» [3]. Детально механизм воздействия корневых систем на поверхностные толщи на склонах с образованием искорного микрорельефа и корневого сноса изложен С. С. Воскресенским [4]. О микрорельефе, обусловленном выворотнями, имеется информация в некоторых учебниках по геоморфологии [5; 6]. Наиболее подробно процесс формирования искорного (ветровального) микрорельефа исследован в работах [7–11]. В результате детальных исследований И. И. Васнева и В. О. Таргульяна удалось количественно оценить как масштабы ветровальной переработки поверхностного субстрата, так и длительность существования искорных форм. В монографии [12] обобщен

накопившийся большой материал по биогенному рельефообразованию на суше, где имеются сведения по искорным формам рельефа. В целом, однако, искорные формы рельефа (корневой снос) по-прежнему относятся к числу малоизученных процессов. В Беларуси исследования по изучению искорных форм рельефа не проводились. Данная работа в нашей стране является первой в этом направлении и в определенной степени обобщает накопленный в процессе изучения геоморфологического устройства территории Брестского Полесья авторский материал.

Материал и методы

Искорные формы рельефа изучались автором на территории Каменецкого, Брестского, Дрогичинского, Жабинковского, Кобринского, Ивановского и Малоритского районов. Детальное изучение фитогенных форм рельефа проводилось на территории Высоковского, Бульковского и Корчицкого полигонов в Каменецком, Жабинковском и Кобринском районах Брестской области.

Высоковский полигон по изучению искорных форм находится в бассейне среднего течения р. Пульвы в пределах юго-западной части Высоковской морено-водно-ледниковой равнины [13]. Площадь полигона составляет 80 км^2. На этой территории выделено четыре ключевых участка: Макаровский, Огородникский, Колоднянский и Котеркинский. Котеркинский участок расположен на южном склоне возвышенной моренной гряды, склоны которой имеют крутизну до 25–30 ^{o}.

Бульковский полигон находится на юго-западной окраине д. Бульково Жабинковского района в пределах Лево-Мухавецкой аллювиальной равнины [13]. Территория полигона включает в себя два ключевых участка площадью 20 км^2. На площади участка Полынное обследованы искорные формы лиственных древесных пород. На участке Курганы изучены искори, сформированные лиственными и хвойными деревьями.

Корчицкий полигон находится на юго-западной окраине д. Корчицы Кобринского района в пределах Мокранско-Хабовичской озерно-аллювиальной низины с участками водно-ледниковой низины [13]. Территория полигона, включает в себя два ключевых участка площадью 15 км^2. На площади участка Корчицы обследованы искорные формы лиственных древесных пород. На Верхолесском участке изучены искори, сформированные хвойными (сосновыми) деревьями на эоловых формах рельефа. В пределах всех полигонов определены количественные и морфометрические параметры искорных форм.

В геоморфологическом отношении выделенные полигоны и ключевые участки расположены на разных высотных уровнях территории Брестского Полесья. Детальное изучение форм современного искорного рельефа проводилось на всех трех полигонах и восьми участках в 2000–2019 гг. Методика изучения искорных форм включала ряд приемов и операций: сплошное маршрутное обследование форм; стационарные и полустационарные наблюдения за их динамикой; составление карт ключевых участков (масштаб 1 : 10 000). Маршрутное обследование участков с целью общего выделения и фиксации искорных форм производилось полосным азимутальным направлением движения по заложенным линиям профилей. В ходе полевых работ в весенне-летне-осеннее время искорные формы в пределах участков детально изучались: фиксировалось их расположение, определялось количество древесных пород для каждого вида, производилась морфографическая и морфометрическая характеристика, а также выяснялись особенности субстрата и разреза строения искорных ям и бугров. Наблюдения проводились с периодичностью 30 дней в течение марта – декабря. Первоначально во время заложения площадок все имеющиеся искорные формы рельефа отмечались на плане в масштабе 1 : 10. Во время последующих обследований составлялись соответствующие планы площадок с изображением на них новых искорных форм рельефа.

Анализ планов размещения искорных форм рельефа позволил проследить их динамику за активный «геоморфологический» сезон и девятнадцатилетний период наблюдений.

Объем извлеченной при падении дерева массы горной породы определялся по формуле:

$$V = \frac{1}{6}\pi R^2 h \ , \qquad (1)$$

где V – объем искори (м^3); R – радиус искори (м); h – глубина впадины искори (м) [6].

Результаты исследования

Искорные формы рельефа на территории исследований возникли при непосредственном участии древесных форм растений и атмосферных воздействий и состоят из органо-минерального и отмершего растительного органического вещества (рисунок 1).

Искорные формы рельефа разнообразны и максимально распространены на территориях с лесным типом растительности. Искорные аккумулятивные формы представлены приствольными искорными буграми, валежными формами, корневыми нанофармами и корневыми стенами. Деструктивные формы представлены искорными, ямами, корневыми трубками, микрократерами и линейно вытянутыми западинными траншейными формами, которые возникают при падении стволов нескольких близко растущих деревьев. Аккумулятивные и деструктивные формы образуются в результате падения деревьев под воздействием сильных порывов ветра и очень редко – в результате самопроизвольного падения деревьев растущих на склонах в наклонном виде (рисунок 2).

Рисунок 1. – Искорная форма

Рисунок 2. – Дерево на склоновой поверхности

Искорные формы широко распространены в лесных массивах на площади всех трех полигонов. Наибольшее их количество выявлено в лесных массивах у деревень Макарово, Огородники, Котера, Бульково (Курганы) и Верхолесье. Средняя плотность этих форм для залесенной территории составляет здесь 0,6 шт./га.

В результате многочисленных замеров искорных форм на площади полигонов выделены типовые градации по их параметрам.

Искорные ямы деревьев с глубинной корневой системой: мелкие (диаметр – 1,0–1,5 м, глубина – 0,5–0,8 м); средние (диаметр – 1,51–2,5 м, глубина – 1,0–1,2 м); большие (диаметр – 2,51–3,0 м, глубина – 1,5 м).

Искорные ямы деревьев с поверхностной корневой системой: мелкие (диаметр – 2,0–2,5 м, глубина – 0,3–0,5 м); средние (диаметр – 2,51–3,5 м, глубина – 0,5–0,7 м); большие (диаметр – 3,51–4,5 м, глубина – 0,8 м).

Размеры образующихся искорных форм зависят в первую очередь от строения корневой системы, формы кроны, а также от состава грунта – крупности и связанности частиц. Изучить особенности строения корневой системы возможно, когда дерево повалено ветром или когда корни оказываются вне слоя почвы вследствие деятельности проточной воды, ветра или когда они обнажаются в вертикальных стенках искусственных выработок (карьерах). Обнаженные корни, выступающие по песчаным берегам р. Мухавец, на Мухавецком месторождении строительных песков развиваются вполне успешно. В глубине почвы или в воде они ветвятся, образуя систему из более мелких органов, а на их окончаниях происходит постоянное обновление молодых тканей, всасывающих питательные растворы. Для деревьев характерно образование одного главного нисходящего (стержневого) корня, который проникает вглубь и образует боковые корни. Лучеобразное (горизонтальное) расхождение от основного ствола (корневого наплыва) состоит из скелетных корней приблизительно одинаковой толщины, пускающих боковые редуцированные корешки, большинство из которых располагается в поверхностном слое почвы, создавая плоскую тарелочную систему. На горизонтальных скелетных корнях, в непосредственной близости от корневого наплыва, формируются вертикальные скелетные корни, укрепляющие дерево в почвенно-земляном субстрате. На окончаниях главного стержневого и вертикальных скелетных корней образуются длинные разветвленные окончания, способствующие всасыванию глубокозалегающей воды из песчаных грунтов. Такая корневая система характерна для сосны. Корни ольхи черной образуют прочное сплетение вертикальных и горизонтальных скелетных корней в слое обводненного берегового грунта без ведущей роли стержневого корня. Эволюция развития корневой системы дуба черешчатого изучена в карьерной выработке первой надпойменной террасы р. Мухавец у д. Петровичи. Особенности строения корневой системы зависит от возраста дерева. Стержневой корень годичного сеянца длиной в 25 см сильно доминирует над зачатком горизонтального скелетного корня (5 см). У десятилетнего дерева наблюдается утолщение главного стержневого корня, увеличение его длины до 1,5 м и увеличение горизонтальных скелетных корней до 0,9 м, на которых появляются зачатки вертикальных скелетных корней. Корневая система дерева в тридцатилетнем возрасте представляет переплетение горизонтальных скелетных корней, которые по длине являются доминирующими, с серией вертикальных скелетных корней, вырастающих на горизонтальных, вертикальная длина которых уменьшается в направлении от корневого наплыва. На стержневом корне появляются зачатки горизонтальных скелетных корней второго порядка на глубине 0,7 м. Корневая система 70-летнего дерева представляет собой переплетение горизонтальных скелетных корней первого порядка, которые по длине являются доминирующими с серией вертикальных скелетных корней, выросших на горизонтальных, вертикальная длина некоторых из них превышает длину главного стержневого корня. От стержневого корня на глубине 0,7 м отходят горизонтальные скелетные корни второго порядка, переплетающиеся с вертикальными корнями, сформированными на горизонтальных корнях первого близповерхностного порядка. Глубина проникновения корней достигает 2,5–3 м. Такое переплетение корней способствует устойчивости дерева при очень сильных воздействиях ветра, и, как правило, искорные формы с участием дуба на исследуемой территории отмечены в единичных количествах. Строение корневой системы березы, осины, клена, вяза, граба,

ясеня, вербы, тополя и липы имеет меньшее количество переплетений и несколько меньшую глубину проникновения в субстрат, чем у дуба, что в конечном результате при воздействии ветра приводит к падению этих древесных пород с образованием искорных форм. У ели и лиственницы поверхностная структура корневой системы. Для этой корневой системы характерно преобладание горизонтальных скелетных корней, находящихся на небольшой глубине, а иногда и выступающих на поверхность почвы. Главный стержневой корень и особенно вертикальные скелетные корни у этих древесных пород проникают на небольшую глубину, что способствует при ветровалах их падению и образованию искорей большого диаметра с незначительной глубиной.

Ствол, крона, состоящая из веток, корни – вегетативные части дерева. Самая массивная часть дерева – ствол, его геометрическая ось и транспортная артерия. Он особенно хорошо развит у большинства хвойных пород, вырастая иногда до уровня кроны. Ствол лиственных пород расходится в стороны раньше, образуя сильные ветви первого порядка, являющиеся основой кроны. Общий вид и максимальная высота дерева зависят от условий произрастания. Ствол сосны обыкновенной, выросшей в сомкнутом лесу, в сравнении со стелющейся ее формой, растущей на сухом песчаном субстрате эоловых гряд, резко контрастируют. Стройный ствол и малая крона первого дерева контрастирует с покосившимся стволом и большой бесформенной раскидистой кроной второго. У липы крупнолистной, растущей в сомкнутом лесу на богатой почве, цилиндрическая форма ствола, небольшая крона. У той же липы, посаженной в аллее парка или на поляне, крона пышно разветвлена и развесиста, причем разветвление ствола на ветви происходит в раннем возрасте. Форма кроны отражается на парусности дерева, что при воздействии на него ветра может привести к его падению с образованием искорной формы.

Искорная яма имеет асимметричную форму. При этом перемещается не весь минеральный материал рыхлой породы, пронизанной корнями, а та его часть, которая прилегает к густо ветвящимся, преимущественно поверхностным корням. Большая часть ризосферы с подветренной стороны дерева при воздействии ветра остается почти не нарушенной при падении. Поэтому искорная яма и вывороченный корень с грунтом (земляная стенка) имеют асимметричную форму. Нижняя часть искорной ямы заполнена рыхлым, осыпавшимся с корней материалом с определенным количеством разноразмерных обломков, а на склоновых поверхностях моренных гряд с участием мелкого валунного материала. На вывороченных корнях земляной стенки материал аналогичен, но с меньшим количеством крупных обломков. Наиболее характерные размеры свежих искорей, образующихся при падении взрослых лиственных деревьев, – глубина 0,5–1 м и диаметр около 2 м. Реже возникают крупные искорные формы диаметром в 4,5–5,5 м при падении взрослых елей, для которых характерна поверхностная корневая система. Такие искори являются неглубокими – от 0,6 до 0,9 м. Высота искорных стенок достигает до 3 м. При падении деревьев, у которых корневая система глубинная например, у сосны, формируется яма меньшего диаметра (1,5–2,5 м), но более глубокая, в 1,5–2,0 м (иногда до 3 м). Высота искорных бугров составляет обычно около 1 м.

Образование ветровальных искорных форм происходит очень быстро, практически за несколько минут. В лесном массиве у пос. Беловежский во время бурелома за 5 минут было вывороченo 79 деревьев. К настоящему времени на этом месте сформировались искорно-западинно-бугристые формы рельефа.

Своеобразной разновидностью искорей являются формы блокового типа – корневые земляные стены на подмываемых берегах рек и озер. Искорные формы блокового вида образуются в процессе подмыва водой берегов рек Котерка, Рыта, Копаевка и в береговой зоне озер Селяхи, Любань и Ореховское. В результате подмыва берега водой стволы деревьев наклонены в сторону русла этих рек и прибрежной полосы названных

озер. Корневая система деревьев с минеральным субстратом под тяжестью наклоненных стволов поднимается, формируя линейные блоковые неровности в прирусловой и приозерной полосе (рисунок 3).

Размеры земляных корневых стен в прибрежной части Ореховского озера достигают в длину 12 м, а их высота от уреза воды составляет 0,85 м. Общий объем материала земляной стены достигает 5 м^3, из них 3–3,5 м^3 (около 60–70 %) – минеральная масса. Земляные стены не имеют широкого распространения на исследуемой территории. Наиболее часто встречаются искорные бугры, объемы которых составляют 0,95–2,2 м^3, а объем минеральной массы в них – 0,5–1,8 м^3.

Рисунок 3. – Корневая земляная стена

Общее количество искорных форм на участках трех полигонов и суммарный объем перемещенного материала горных пород за многолетний период проведенных исследований отображен в таблице.

Таблица. – Объем перемещенного материала искорных форм рельефа за 2001–2020 гг., м^3

Полигон	Участок	Количество искорных форм	Суммарный объем материала искорных форм
Высоковский	Макаровский	162	71,68
	Огородникский	122	53,98
	Колоднянский	82	36,28
	Котеркинский	98	43,36
Бульковский	Полынное	64	28,32
	Курганы	94	41,59
Корчицкий	Корчицкий	52	23,01
	Верхолесский	88	38,94

Продолжительность существования искорных форм различна и зависит от погодных условий и первоначальных параметров. В засушливое лето 2015 г. зафиксировано 25 искорных форм по левобережью р. Котерки. Их морфологические характеристики до конца декабря в отсутствии снежного покрова не претерпели значительных изменений. С течением времени искорные ямы и стенки постепенно утратили свою первоначальную форму, и от искорей остались небольшия западинки глубиной 20–30 см, а на месте стенок – холмики высотой от 15 до 25 см. За 1,5–2 года в западинах полностью заполнились вертикальные и горизонтальные углубления от выдернутых корней. За 2–3 года сгладились стенки наиболее глубоких западин. На открытых склоновых поверхностях Котеркинского участка минеральный материал искорных стенок в последующие годы подвергался воздействию атмосферных осадков и смещался вниз по склону, а также осыпался в западины, а некоторая его часть разносилась под воздействием ветра. За 2 г. весь минеральный материал полностью осыпался с вывороченных корней.

На выровненных пространствах исследуемой территории большинство искорных углублений на второй год существования зарастают от периферии к центру травянистой, кустарничковой и моховой растительностью. Это способствует стабилизации стенок западин. На верхних частях ветровальных стенок вывалов старше 7–12 лет полностью обнажаются корни от минерального материала, который осыпается вниз и формирует небольшой земляной холмик, впоследствии покрывающийся моховой, травяной растительностью и листовым опадом. Через 18–20 лет минеральный материал земляной стенки полностью осыпается, отпадают основные корни комлевой части лиственных древесных пород, произраставших на пониженных участках. В итоге формируется значительный, стабильный по объему бугор, покрытый мохово-травянисто-кустарничковым покровом и лесной подстилкой. Высота бугров достигает 50–80 см. С течением времени искорные формы существенно уменьшаются в объеме, что постепенно нивелирует микрорельеф поверхности, а наиболее глубокие искорные ямы крупных вывалов хорошо сохраняются в рельефе и через 40–50 лет после их образования.

Валежные формы рельефа на исследуемой территории не получили широкого распространения. Это связано с тем, что лесотехнические службы лесничеств сразу или через небольшой промежуток времени после ветровала убирают стволовые части упавших деревьев.

Заключение

Выполненные геоморфологические исследования на территории Брестского Полесья позволили сделать следующие выводы:

1) выделено пять основных видов искорных наноформ рельефа, созданных при падении деревьев, – искорные западины (ямы, траншеи), искорные бугры, ветровальные стенки и фомы блокового типа – земляные стены;

2) по генезису искорные формы рельефа относятся к биогенным (фитогенным) формам, которые возникают в результате падения деревьев под воздействием ветровой энергии или самопроизвольного падения;

3) на основании многочисленных замеров искорных форм на площади полигонов выделены типовые градации по их параметрам;

4) в результате образования искорных форм перемещается значительный объем материала горных пород;

5) определена динамика развития и продолжительность существования искорных форм рельефа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 152.

2. Герасимов, И. П. Геоморфологические наблюдения в Центрально-Лесном заповеднике / И. П. Герасимов // Фонды Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника.

3. Лютцау, С. В. О роли корневых систем древесных растений в движении рыхлых обломочных масс на склонах и в формировании рельефа / С. В. Лютцау // Вопр. географии. – 1959. – Т. 46. – С. 169–177.

4. Воскресенский, С. С. Динамическая геоморфология. Формирование склонов / С. С. Воскресенский. – М. : Изд-во МГУ, 1971. – 230 с.

5. Подобедов, Н. С. Общая физическая география и геоморфология / Н. С. Подобедов. – М. : Недра, 1974. – 312 с.

6. Ананьев, Г. С. Биогенные процессы / Г. С. Ананьев // Динамическая геоморфология : учеб. пособие / под ред. Г. С. Ананьева. – М. : Изд-во МГУ, 1992. – С. 374.

7. Лаптев, И. П. Экология, биогеоценология и охрана природы / И. П. Лаптев, Б. Г. Иоганзен. – Томск : Изд-во Томс. ун-та, 1979. – 256 с.

8. Скворцова, Е. Б. Экологическая роль ветровалов / Е. Б. Скворцова, Н. Г. Уланова, В. Ф. Басевич. – М. : Лесная пром-сть, 1983. – 192 с.

9. Карпачевский, Л. О. Микрорельеф – функция лесного биогеоценоза / Л. О. Карпачевский, М. Н. Строганова // Почвоведение. – 1981. – № 5. – С. 40–49.

10. Корецкий, А. П. Об интенсивности корневого сноса на севере Сихотэ-Алиня / А. П. Корецкий // Экзогенное рельефообразование на Дальнем Востоке : сб. науч. ст. – Владивосток, 1985. – С. 79–86.

11. Васенев, И. И. Ветровал и таежное почвообразование / И. И. Васнев, В. О. Таргульян. – М. : Наука, 1995. – 250 с.

12. Болысов, С. И. Биогенное рельефообразование на суше : в 2 т. / С. И. Болысов. – М. : ГЕОС, 2006–2007. – Т. 1 : Эволюция биогенного рельефообразования. – 2006. – 270 с.

13. Гречаник, Н. Ф. Характеристика геоморфологических районов территории Подлясско-Брестской впадины / Н. Ф. Гречаник // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – 2012. – № 1. – С. 85–99.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 30.05.2020

УДК 911.3:61

О. О. Дорожко[1], О. И. Грядунова[2], С. В. Панько[3], М. А. Богдасаров[4]
[1]магистр геогр. наук, аспирант каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
[2]канд. геогр. наук, доц., доц. каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
[3]д-р мед. наук, проф., зав. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
[4]д-р геол.-минерал. наук, проф., член-кор. НАН Беларуси,
зав. каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
e-mail: [1]dorozhko070996@mail.ru

ВЛИЯНИЕ БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОБЩУЮ ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ ВЗРОСЛОГО НАСЕЛЕНИЯ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

Представлен анализ общей заболеваемости взрослого населения на территории Брестской области за период 2001–2018 гг. по 13 классам патологий. Проведена комплексная оценка биоклиматических условий и показано их влияние на состояние здоровья человека. Для установления связи между показателями общей заболеваемости и биоклиматическими характеристиками, такими, как: индекс патогенности температуры воздуха, индекс патогенности межсуточного изменения температуры воздуха, индекс патогенности влажности воздуха, индекс патогенности скорости ветра, индекс патогенности межсуточного изменения атмосферного давления и индекс патогенности облачности – был применен корреляционный анализ. Это позволило выявить взаимосвязи с болезнями органов дыхания, нервной системы и системы кровообращения. Полученные результаты указывают на достаточно неоднородное воздействие биоклиматических параметров, что объясняется различием природных и социально-экономических факторов.

DOROZHKO O. O., GRYADUNOVA O. I., PANKO S. V., BOGDASAROV M. A.
INFLUENCE OF BIOCLIMATIC CONDITIONS ON THE OVERALL MORBIDITY OF THE ADULT POPULATION OF THE BREST REGION

The article presents an analysis of the General morbidity of the adult population in the territory of the Brest region for the period 2001–2018. 13 classes of pathologies. A comprehensive assessment of bioclimatic conditions was carried out and their impact on human health was shown. Correlation analysis was applied to establish the relationship between the indicators of General morbidity and bioclimatic characteristics, such as the air temperature pathogenicity index, the air temperature pathogenicity index, the air humidity pathogenicity index, the wind speed pathogenicity index, the atmospheric pressure pathogenicity index, and the cloud cover pathogenicity index. This allowed us to identify the relationship with diseases of the respiratory system, nervous system and circulatory system. The obtained results indicate a rather heterogeneous impact of bioclimatic parameters, which is explained by the difference between natural and socio-economic factors.

Введение

Здоровье населения является индикатором благополучия любого общества и занимает приоритетное место в ряду ценностей человека. В последние годы одним из факторов, оказывающим влияние на здоровье, рассматриваются климатические условия. Организм человека постоянно подвержен различным видам климатических воздействий, которые проявляются через одновременное влияние температуры воздуха, влажности, атмосферного давления, скорости ветра, облачности [1, с. 2]. Новейшие данные свидетельствуют о том, что наряду с климатическим фактором на состояние здоровья человека в значительной степени оказывают влияние особенности геологической среды [2].

При изучении воздействия климатических условий на состояние организма человека широко применяются такие биоклиматические индексы:

1) ИПТВ – индекс патогенности температуры воздуха;

2) ИПМИТВ – индекс патогенности межсуточного изменения температуры воздуха;

3) ИПВВ – индекс патогенности влажности воздуха;

4) ИПСВ – индекс патогенности скорости ветра;

5) ИПМИАД – индекс патогенности межсуточного изменения атмосферного давления;

6) ИПО – индекс патогенности облачности.

Материалы и методы исследования

Основным фактическим материалом явились статистические данные по общей заболеваемости взрослого населения Брестской области, полученные в отделе медицинской статистики Брестской областной клинической больницы с 2001 по 2018 г. по следующим классам патологий:

1) некоторые инфекционные и паразитарные болезни;

2) новообразования, злокачественные и доброкачественные новообразования;

3) болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм;

4) психические расстройства и расстройства поведения;

5) болезни нервной системы;

6) болезни системы кровообращения;

7) болезни органов дыхания;

8) болезни органов пищеварения;

9) болезни мочеполовой системы;

10) врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения;

11) травмы, отравления и другие последствия воздействия внешних причин.

Общая заболеваемость – совокупность всех имеющихся среди населения заболеваний, как впервые выявленных в данном календарном году, так и зарегистрированных в предыдущие годы (хронические случаи заболеваний), по поводу которых пациенты вновь обратились в данном году [3, с. 18]. Величина общей заболеваемости зависит от первичной, поскольку возникновение новых случаев болезни будет увеличивать число существующих, и от продолжительности заболевания. Следовательно, изменение общей заболеваемости может быть результатом изменения либо первичной заболеваемости, либо продолжительности заболеваний. Данные по общей заболеваемости позволяют проводить целенаправленные профилактические мероприятия по снижению зарегистрированной патологии среди населения, а также определять потребность в медицинских кадрах и больничных койках [3].

Для изучения общей заболеваемости были рассчитаны общие показатели заболеваемости: коэффициент роста заболеваемости, распространенность (болезненность), темпы роста заболеваемости [4].

Коэффициент роста заболеваемости (К) за исследуемый период был рассчитан по следующей формуле:

$$К = \frac{Р_{1(2018)}}{Р_{0(2001)}} * 100\%. \quad (1)$$

Распространенность (болезненность) отражает частоту всех заболеваний, зарегистрированных в данном году и рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Болезненность} = \frac{\text{количество случаев(впервые в этом году и ранее имевшихся)}}{\text{среднегодовая численность населения}} \quad (2)$$

Темпы прироста характеризуют относительную разницу заболеваемости изучаемого года к заболеваемости предшествующего года:

$$\text{Темпы прироста} = \left(\frac{P_1 - P_0}{P_0} * 100\%\right) - 100\%, \quad (3)$$

где P_1 – показатель заболеваемости изучаемого года, P_0 – показатель заболеваемости предшествующего года.

В качестве меры зависимости между заболеваемостью и биоклиматическими показателями применен коэффициент корреляции (r), который изменяется в пределах от –1 до +1. Принято считать, что при $r < \pm 0{,}19$ связь очень слабая, при $\pm 0{,}20 \leq r \leq \pm 0{,}29$ – слабая связь, при $\pm 0{,}30 \leq r \leq \pm 0{,}49$ – умеренная связь, при $\pm 0{,}50 \leq r \leq \pm 0{,}69$ – средняя связь при $r \geq \pm 0{,}70$ – сильная связь. При $r = 0$ корреляция незначимая, т. е. нет взаимосвязи двух показателей [5].

Результаты и их обсуждение

Самые высокие уровни общей заболеваемости за период 2001–2018 гг. формируют одни и те же виды заболеваний (рисунок 1): болезни системы кровообращения, болезни органов дыхания и органов пищеварения, где на их долю в структуре общей заболеваемости приходится 27, 16 и 7 % соответственно. Самые низкие уровни заболеваемости занимают врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения, болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм, где показатель не превысил 1 %. Несколько большая доля отводится на злокачественные новообразования (2 %), заболевания нервной системы (1 %) и доброкачественные новообразования (1 %).

Рисунок 1. – Структура общей заболеваемости взрослого населения Брестской области за 2001–2018 гг.

Как правило, большая часть (более 65 %) из общей суммы случаев заболеваний системы кровообращения приходится на ишемические болезни сердца, а также болезни, характеризующиеся повышенным артериальным давлением. Среди болезней органов дыхания самыми распространенными являются острые респираторные инфекции верхних дыхательных путей, болезней органов пищеварения: болезни пищевода, желудка и двенадцатиперстной кишки (язвы, гастриты, дуодениты и диспепсии).

Анализ данных рисунка 2 показывает, что самые высокие значения характерны для Брестского, Дрогичинского и Ивановского районов. Повышенные показатели заболеваемости также отмечаются в Ляховичском, Ивацевичском и Березовском районах. Наименьшие показатели отмечаются в Каменецком р-не, где средний показатель не превысил 90 тыс. на 100 тыс. взрослого населения.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что самыми высокими темпами роста общей заболеваемости характеризуется Ганцевичский р-н, где рассчитанный показатель составил 194 %; такая же тенденция наблюдается в Кобринском (162 %), Пинском (123 %) и Жабинковском (105 %) районах. В таких районах, как Березовский, Дрогичинский и Ивацевичский, коэффициент роста общей заболеваемости составляет более 70 %. Самые низкие значения коэффициента отмечаются в Брестском и Малоритском районах, где темп роста за исследуемый период не превышает 30 %.

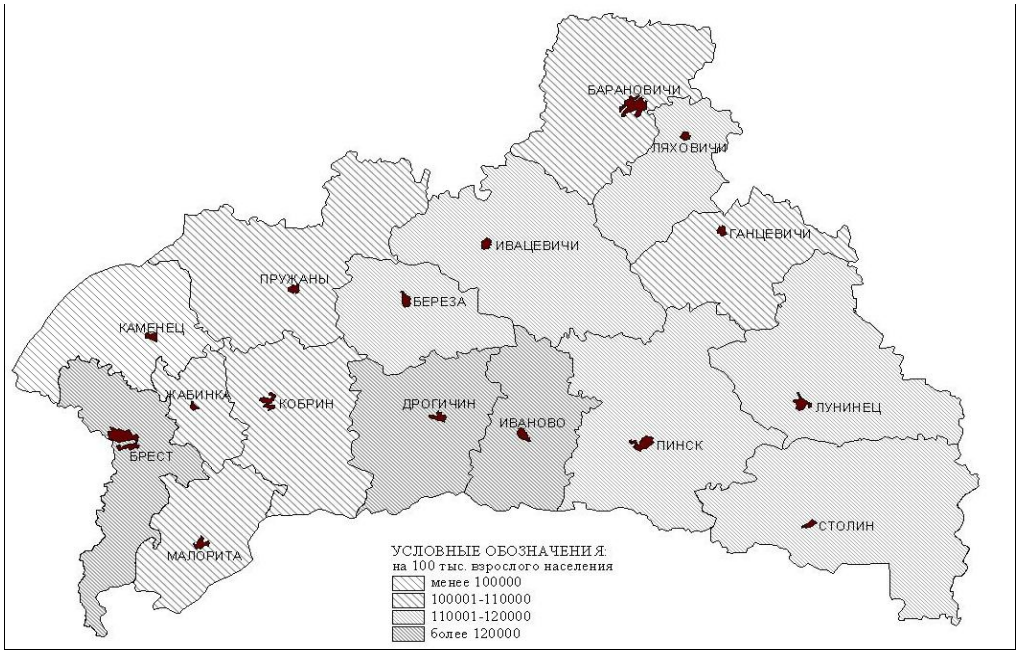


Рисунок 2. – Общая заболеваемость взрослого населения Брестской области

Таблица 1. – Показатели общей заболеваемости

Район	Численность населения	Количество заболевших	Коэффициент роста заболеваемости	Распространенность/ болезненность
Брестский	355 123	128 604	+22	0,36
Барановичский	222 140	103 135	+44	0,46
Пинский	195 900	112 230	+123	0,57
Березовский	67 670	117 822	+70	1,74
Ганцевичский	31 410	100 813	+194	3,21
Дрогичинский	43 139	120 442	+79	2,79
Жабинковский	24 986	107 128	+105	4,29
Ивановский	44 054	122 903	+45	2,79
Ивацевичский	60 497	115 917	+90	1,92
Каменецкий	39 202	89 789	+52	2,29
Кобринский	88 140	107 990	+162	1,23
Лунинецкий	73 091	111 327	+36	1,52
Ляховичский	30 561	118 569	+32	3,88
Малоритский	26 168	109 213	+26	4,17
Пружанский	53 947	108 817	+62	2,02
Столинский	80 626	112 269	+47	1,39

Средний показатель болезненности жителей Брестской области составляет 2,16. Самое высокое значение частоты заболеваемости (4,29) характерно для Жабинковского района. Значительные величины этого показателя также фиксируются в Малоритском, Ганцевичском и Ляховичском районах. Самый низкий показатель распространенности заболеваемости (0,36) характерен для Брестского района. Немного выше (0,57 и 0,46) этот показатель соответственно в Пинском и Барановичском районах.

Самыми высокими темпами прироста характеризовались 2005, 2007 и 2017 гг., где среднегодовой прирост составил +10 +10 и +8 % соответственно, а самые низкие значения прироста характерны для 2010 и 2014 гг., когда среднегодовые показатели уменьшились на –3 и –2 % соответственно. В то же время темпы общей заболеваемости незначительно уменьшились в 2001 и 2012 гг. Средний абсолютный прирост по территории Брестской области составляет +3 %.

По результатам проведенного корреляционного анализа было установлено, что общая заболеваемость в среднем по территории Брестской области имеет среднюю связь с ИПО и ИПМИТВ, умеренную связь с ИПТВ, ИПСВ и ИПМИАД, очень слабую связь с ИПВВ. Однако данные значения неоднородно распределены по исследуемой территории. Так, например, самая высокая связь с комплексом биоклиматических характеристик отмечается в Барановичском р-не, где в целом коэффициент корреляции составляет –0,35, что свидетельствует об умеренной взаимосвязи между показателями. Также значительная связь наблюдается в Лунинецком, Ганцевичском и Пружанском районах, где наибольший вклад в общий показатель вносят ИПМИТВ, ИПСВ и ИПО, с которыми наблюдается значительная взаимосвязь. Очень слабая связь между показателями заболеваемости и биоклиматическими характеристиками отмечается на территориях Брестского, Ганцевичского, Пинского и Каменецкого районов (таблица 2).

Таблица 2. – Взаимосвязь частных индексов патогенности с общей заболеваемостью взрослого населения Брестской области за период с 2001 по 2018 г.

	ИПТВ	ИПМИТВ	ИПВВ	ИПСВ	ИПМИАД	ИПО
Брестский	–0,28	–0,36	–0,18	–0,11	–0,34	0,30
Барановичский	–0,44	–0,79	–0,14	–0,87	–0,44	0,60
Ивацевичский	–0,31	–0,66	–0,14	–0,14	–0,36	0,68
Ганцевичский	–0,40	–0,64	–0,41	–0,27	–0,26	0,62
Пинский	–0,45	–0,77	0,18	0,22	–0,62	0,54
Пружанский	–0,28	–0,48	–0,25	–0,75	–0,27	0,54
Каменецкий	–0,22	–0,20	0,62	–0,72	–0,23	0,21
Лунинецкий	–0,30	–0,66	–0,25	–0,61	–0,43	0,50

Болезни системы кровообращения. В целом по территории Брестской области отмечается взаимосвязь заболеваемости как общей, так и первичной с такими частными индексами патогенности, как ИПТВ, ИПСВ, ИПМИАД и ИПО, где коэффициент корреляции изменяется от –0,34 до –0,44, что свидетельствует об умеренной связи; показатель корреляции ИПМИТВ находится в диапазоне от –0,57 до –0,78 (средняя связь). По административным районам наблюдается следующая особенность: в Барановичском (ИПМИАД – умеренная связь, ИПТВ, ИПО – средняя связь, ИПСВ, ИПМИТВ – сильная связь) и Лунинецком (ИПМИАД, ИПО – умеренная связь, ИПМИТВ – средняя связь, ИПСВ – сильная связь) районах в целом доминирует умеренная и средняя связи. На территориях таких административных районах, как Ганцевичский (ИПТВ, ИПСВ, ИПВВ – умеренная связь, ИПМИТВ и ИПО – средняя связь) и Пружанский (ИПТВ, ИПМИТВ, ИПВВ – умеренная связь, ИПСВ и ИПО – средняя связь), доминирует также значительная взаимосвязь между общей заболеваемостью и биоклиматическими показателями.

Болезни органов дыхания. На общую и первичную заболеваемость болезнями органов дыхания на территории Брестской области оказывают влияние ИПВВ (умеренная связь – (–0,30)), ИПСВ (умеренная связь – от –0,25 до –0,35), ИПО (слабая связь, а значение коэффициента корреляции изменяется от –0,20 до –0,26). Наибольшее воздействие частных индексов патогенности (ЧИП) на общую заболеваемость органов дыхания отмечается в Брестском (умеренная связь с ИПВВ, ИПО и ИПМИАД (коэффициент корреляции находится в диапазоне от 0,30 до –0,39) и Пружанском районах (умеренная связь с ИПМИТВ и ИПВВ, сильная связь с ИПСВ).

Болезни органов пищеварения. За период с 2001 по 2018 г. по территории Брестской области отмечается умеренная взаимосвязь общей и первичной заболеваемости болезнями органов пищеварения. Умеренная взаимосвязь найдена только для ИПМИТВ (коэффициент корреляции изменяется в диапазоне от 0,34 до 0,38), а с ИПО не установлено связи, т. к. коэффициент корреляции составляет 0. В общей заболеваемости наибольшая влияние ЧИП отмечается в следующих районах: в Ганцевичском (умеренная связь с ИПМИАД, ИПТВ, где значение корреляции варьирует от –0,34 до –0,46, средняя связь с ИПМИТВ, ИПВВ и ИПО, где значение корреляции варьирует от –0,51 до 0,69), Лунинецком (умеренная связь с ИПМИТВ, ИПВВ, ИПСВ и ИПО), Пружанском (средняя связь с ИПСВ: коэффициент корреляции составляет –0,54, сильная связь с ИПСВ (–0,70)) и Ивацевичском (умеренная связь с ИПТВ (0,31), средняя связь с ИПВВ (0,57)).

Психические расстройства и расстройства поведения. Следует отметить, что за исследуемый период на территории Брестской области взаимосвязь между биоклиматическими показателями и психическими расстройствами и расстройства поведения характеризуется как очень слабая и слабая. Слабая связь отмечается с такими частными индексами, как ИПТВ, ИПМИТВ, ИПВВ и ИПСВ. С ИПМИАД коэффициент корреляции составляет 0. В общей заболеваемости психическими расстройствами и расстройствами поведения в разрезе административных районов отмечаются следующие особенности: в Барановичском р-не доминирует умеренная связь с ИПТВ (–0,33), средняя связь с такими индексами, как ИПМИТВ (–0,58), ИПО (0,54), ИПМИАД (коэффициент корреляции – 0,50) и сильная связь с ИПСВ (–0,75); в Ганцевичском р-не: умеренная связь с ИПТВ (–0,37), ИПМИТВ (– 0,39), ИПО (0,35), сильная связь с ИПСВ (0,70); в Пружанском р-не: средняя связь с ИПВВ (0,56), умеренная связь с ИПМИТВ, ИПСВ и ИПО.

Болезни мочеполовой системы. На общую и первичную заболеваемость болезнями мочеполовой системы на территории Брестской области оказывает влияние ИПМИТВ, доминирует в основном сильная и средняя взаимосвязи. Наибольшее воздействие ЧИП на общую заболеваемость мочеполовой системы отмечается в Барановичском р-не (сильная связь с ИПО (0,79), ИПМИТВ (–0,85), ИПСВ (–0,77), средняя связь с ИПТВ (–0,57) а с ИПМИАД отмечается умеренная связь и значение коэффициента корреляции достигает –0,43. В Пинском р-не сильная связь с ИПМИТВ (–0,74) и ИПМИАД (–0,75), средняя связь с ИПО (0,56). В Пружанском р-не сильная связь с ИПСВ (–0,79), умеренная связь с ИПМИТВ (–0,39) и ИПО (0,46). Средняя взаимосвязь установлена в Лунинецком р-не: ИПМИТВ (–0,62), ИПО (0,52), умеренная связь с ИПСВ (–0,41), ИПМИАД (–0,44) и ИПВВ (–0,40). В Каменецком р-не: сильная связь с ИПО (0,73), средняя связь с ИПМИАД (–0,61), умеренная связь с ИПТВ (–0,37), ИПВВ (0,42) и ИПСВ (–0,49).

Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин. По территории Брестской области отмечается достаточно слабая взаимосвязь обращений по поводу травм и отравлений. Однако умеренная взаимосвязь характерна только для ИПМИТВ (коэффициент корреляции в диапазоне от –0,39 до –0,42). В общей заболеваемости по административным районам наблюдается следующее: Баранович-ский (умеренная связь с ИПМИТВ, ИПМИАД (значение корреляции варьирует от –0,36

до –0,44, средняя связь с ИПСВ –0,68); Ивацевичский (умеренная связь с ИПО (0,32), средняя связь с ИПМИТВ, корреляция достигает до – 0,69); Пинский (средняя связь с ИПВВ (0,57), умеренная связь с ИПО, ИПМИАД и ИПМИТВ); Каменецкий (умеренная связь с ИПМИТВ, ИПВВ, ИПСВ, коэффициент корреляции находится в пределах от – 0,34 до 0,33).

Некоторые инфекционные и паразитарные болезни. В целом по территории Брестской области, как на общую, так и на первичную заболеваемость частные индексы патогенности не оказывают существенного влияния. Однако на первичную заболеваемость за исследуемый период оказывает влияние изменение ИПМИТВ, коэффициент корреляции достигает –0,33, что свидетельствует о умеренной зависимости. По административным районам наблюдается следующее: значительное влияние ЧИП отмечается в Ганцевичском р-не, где основное влияние оказывают ИПМИТВ (–0,51), ИПСВ (–0,40), ИПМИАД (–0,47) и ИПО (–0,46) и отмечается средняя и умеренная связи между количеством заболевших и биоклиматическими значениями. Особенностью проведенного корреляционного анализа является то, что на территории Брестского р-на за период с 2001 по 2018 г. с ЧИП отмечается только слабая и очень слабая связи. В Пружанском и Каменецком районах с ИПСВ, ИПМИАД и ИПО отмечается умеренная и средняя связь.

Новообразования. На общую и первичную заболеваемость новообразованиями на территории Брестской области за период с 2001 по 2018 г. оказывают влияние все ЧИП, с которыми наблюдается умеренная связь (ИПТВ, ИПВВ, ИПСВ, ИПМИАД), средняя связь (ИПМИТВ и ИПО). Наибольшее влияние ЧИП на общую заболеваемость новообразованиями отмечается в Барановичском (сильная связь с ИПМИТВ (–0,81), ИПСВ (–0,83), ИПО (0,74), средняя связь с ИПТВ (коэффициент корреляции составляет –0,50), умеренная связь с ИПМИАД, где показатель коэффициента корреляции достигает до –0,40), Лунинецком (умеренная связь с ИПВВ, ИПМИАД: исследуемый показатель находится в диапазоне от –0,31 до –0,39, средняя связь с ИПСВ (–0,54) и ИПО (0,61), сильная с ИПМИТВ (–0,77)), Пружанском (коэффициент корреляции изменяется от –0,65 (ИПСВ) до –0,59 (ИПО), что свидетельствует об средней связи) и Ивацевичском районах (сильная связь с ИПМИТВ, ИПО, где коэффициенты корреляции изменяются от –0,70 до 0,80).

Злокачественные новообразования. В целом по территории Брестской области отмечается умеренная взаимосвязь заболеваемости злокачественными новообразованиями как общей, так и первичной с ИПТВ, ИПСВ, ИПМИАД. С ИПО и ИПМИТВ за исследуемый период доминирует средняя взаимосвязь между количеством заболевших и данными показателями, с ИПВВ отмечается слабая взаимосвязь. В общей заболеваемости по административным районам наблюдается следующее: в Лунинецком (ИПМИТВ – сильная связь, где коэффициент корреляции достигает –0,75), Барановичском (ИПМИТВ (–0,82), ИПСВ (–0,83), ИПО (0,71) – сильная связь, средняя связь с ИПТВ и умеренная с ИПМИАД), Пинском (ИПМИТВ, ИПМИАД – сильная связь, ИПО – средняя связь, ИПТВ и ИПСВ – умеренная связь) и Пружанском районах (ИПСВ, ИПО – сильная связь, ИПМИТВ – средняя связь, ИПТВ и ИПВВ – умеренная связь).

Доброкачественные новообразования. По территории Брестской области отмечается достаточно умеренная взаимосвязь общей и первичной заболеваемости доброкачественными новообразованиями. Средняя взаимосвязь характерна только для ИПМИТВ (коэффициент корреляции изменяется в диапазоне от –0,50 до –0,82), ИПО (коэффициент корреляции изменяется в диапазоне от –0,51 до 0,79). В общей заболеваемости по административным районам наблюдается следующее: в Ивацевичском (умеренная связь с ИПТВ, ИПМИАД и ИПВВ, где значение корреляции варьирует от –0,32 до –0,41, сильная связь с ИПО и ИПМИТВ –0,79 и –0,78 соответственно), Пинском (сильная связь с ИПМИТВ (–0,82), ИПМИАД (–0,79), ИПО (– 0,76), средняя связь с ИПТВ (–0,53),

умеренная связь с ИПСВ (0,35), Каменецком (средняя связь с ИПСВ (–0,53), умеренная связь с ИПТВ, ИПВВ, ИПО: коэффициент корреляции находится в пределах –0,42–0,38) и Лунинецком (сильная связь с ИПМИТВ (–0,73), средняя связь с ИПО (0,59), умеренная связь с ИПВВ, ИПСВ: коэффициент корреляции находится в пределах от –0,48 до –0,49).

Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм. На общую и первичную заболеваемость болезней крови воздействуют ИПТВ (умеренная связь от –0,38 до –0,39), ИПМИТВ (связь варьирует от умеренной до средней), ИПВВ (доминирует средняя связь), ИПМИАД, ИПСВ (связь изменяется от слабой до средней) и ИПО (связь варьирует от средней до сильной). Наибольшее влияние ЧИП на общую заболеваемость отмечается в Брестском р-не, где показатели связи находятся в диапазоне от умеренной связи (ИПТВ (–0,47)) до сильной (ИПМИТВ (–0,72), ИПО (–0,75), Пружанском р-не (ИПО – сильная связь, ИПМИТВ, ИПВВ, ИПСВ – средняя связь, ИПТВ, ИПМИАД – умеренная связь), Барановичском р-не (ИПМИТВ, ИПО – сильная связь, ИПТВ, ИПСВ – средняя связь), Ганцевичском р-не (ИПМИТВ, ИПВВ, ИПСВ, ИПО – средняя связь, ИПТВ – умеренная связь) и Пинском р-не (ИПМИТВ, ИПО – сильная связь, ИПТВ, ИПМИАД – средняя связь, ИПСВ – умеренная связь).

Болезни нервной системы. В целом по территории Брестской области как на общую, так и на первичную заболеваемость болезнями нервной системы частные индексы патогенности не оказывают существенного влияния. Слабая взаимосвязь отмечается только с ИПМИТВ, ИПВВ и ИПСВ. По административным районам общей заболеваемость болезнями нервной системы наблюдается следующее: наибольшее воздействие частных индексов патогенности отмечается в Брестском и Пинском районах, где основное влияние оказывают ИПМИТВ (0,43), ИПСВ (–0,44) и ИПО (–0,45), где отмечается умеренная связь между количеством заболевших и биоклиматическими показателями. В Ганцевичском р-не сильная связь с ИПО и ИПМИАД, средняя связь с ИПВВ, рассчитанные коэффициенты корреляции варьируют от –0,53 до –0,65, а также с ИПТВ (–0,43), ИПСВ (–0,49) – умеренная связь. В Пружанском и Каменецком районах с ИПМИАД не установлено взаимосвязи. Таким образом, влияние климатических и биоклиматических параметров на заболеваемость населения Брестской области достаточно неоднородно, что может быть обусловлено различием не только природных условий, но и социальных, экономических, демографических, экологических и иных факторов.

Заключение

1. Анализ структуры общей заболеваемости взрослого населения Брестской области показал, что самые высокие уровни общей заболеваемости формируют одни и те же группы заболеваний: болезни системы кровообращения, болезни органов дыхания и органов пищеварения. Самые низкие уровни в общей заболеваемости занимают следующие классы патологий: болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм, болезни нервной системы и врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения.

2. Наибольшее снижение общей заболеваемости отмечается по болезням нервной системы. Существенный прирост количества зафиксированных случаев заболевания отмечен для следующих классов патологий: новообразования (злокачественные и доброкачественные), болезни мочеполовой системы и травмы, отравления и некоторые другие последствия внешних причин.

3. Корреляционный анализ между 13 классами патологий и биоклиматическими характеристиками выявил взаимосвязи облачности и изменения температуры воздуха с новообразованиями (доброкачественными и злокачественными), болезнями крови и болезнями мочеполовой системы.

4. На болезни органов дыхания существенное влияние оказывают влажность воздуха и скорость ветра. На болезни нервной системы и системы кровообращения наибольшее влияние оказывают температура воздуха и ее межсуточное изменение, а также облачность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулагина, Е. Ю. Оценка биоклиматической комфортности территории Центрального федерального округа : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Е. Ю. Кулагина. – Владимир, 2013. – С. 2.

2. Medical geology in Russia and the NIS [Electronic resource] / I. F. Volfson [et al.] // Medical geology – a regional synthesis / O. Selinus, R. B. Finkelman, J. A. Centeno (eds.). – Springer, 2010. – P. 221–258. – Mode of access: https://doi.org/10.1007/978-90-481-3430-4_9.

3. Глушанко, В. С. Методика изучения уровня, частоты, структуры и динамики заболеваемости и инвалидности. Медико-реабилитационные мероприятия и их составляющие : учеб.-метод. пособие / В. С. Глушанко, А. П. Тимофеева, А. А. Герберг ; под ред. д-ра мед. наук, проф. В. С. Глушанко. – Витебск : Изд-во ВГМУ, 2016. – 177 с.

4. Ряды динамики и их применение в анализе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.hi-edu.ru/e-books/xbook096/01/part-009.htm. – Дата доступа: 31.05.2020.

5. Методы теории планирования и применение современных информационных технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studfile.net/preview/81859-28/page:2/. – Дата доступа: 31.05.2020.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 29.05.2020

УДК 551.312.3:551.312.4+624.131

К. І. Кашутчык[1], А. Ю. Трацэўская[2]
[1]магістрант геолага-геаграфічнага факультэта
Гомельскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Францыска Скарыны
[2]канд. геол.-мінерал. навук, дац. каф. геалогіі і геаграфіі
Гомельскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Францыска Скарыны
e-mail: kashutchik.kirill@gmail.com

УМОВЫ АПАДКАНАЗАПАШВАННЯ АЗЁРНА-АЛЮВІЯЛЬНЫХ АДКЛАДАЎ НА ПАДСТАВЕ ІХ УЛАСЦІВАСЦЯЎ

Разгледжаны і пададзены вынікі даследавання асноўных фізічных уласцівасцяў азёрна-алювіяльных адкладаў. Вызначаны іх грануламетрычны і мікраагрэгатны склады. Прыведзена іх параўнанне паміж сабой, а таксама з грануламетрычнымі складамі іншых утварэнняў. На падставе атрыманых дадзеных усталяваны магчымыя ўмовы фарміравання азёрна-алювіяльных адкладаў.

KASHUTCHYK K., TRATSEUSKAJA A.

SEDIMENTATION CONDITIONS OF LAKE-ALLUVIAL SEDIMENTS BASED ON THEIR PROPERTIES

The article describes and presents the results of the study of the basic physical properties of lake-alluvial deposits. Granulometric and microaggregate compositions of the studied sediments were also determined. Their comparison with each other, and also with granulometric compositions of other deposits is resulted. On the basis of the received data possible conditions of formation of lake-alluvial deposits are established.

Уводзіны

Азёрна-алювіяльныя адклады з’яўляюцца аднымі з найменш вывучаных адкладаў чацвярцічнага ўзросту. У той жа час яны з’яўляюцца даволі цікавым аб’ектам вывучэння з навукова-практычнага пункту гледжання. Па-першае, гэтыя ўтварэнні няпоўна апісаны ў навуковай літаратуры з літалагічнай пазіцыі, яшчэ менш інфармацыі пра іх інжынерна-геалагічныя ўласцівасці [1–7]. Па-другое, з-за нявызначанасці паходжання азёрна-алювіяльных адкладаў узнікае пытанне пра патрэбу вылучэння іх у самастойны геолага-генетычны комплекс, як гэта зроблена ў СТБ [8].

Геалагічны слоўнік дае наступнае вызначэнне: «Озерно-аллювиальные отложения – это отложения, слагающие озерные дельты и формирующиеся в озеровидных расширениях речных долин, где в результате малого уклона речные воды растекаются, образуя застойные мелководные бассейны. Характеризуются признаками, свойственными как пойменной фации аллювия, так и озерным отложениям» [9]. Гэта спалучэнне фацый алювіяльных і азёрных адкладаў трэба разглядаць як складаныя парагенетычныя ўтварэнні [7].

Паводле карт чацвяртічных адкладаў Беларусі, азёрна-алювіяльныя адклады пашыраны на тэрыторыі краіны, асабліва шырока ў яе паўднёвай частцы [10; 11].

Матэрыялы і метады даследаванняў

З прычыны недастатковай колькасці інфармацыі пра інжынерна-геалагічныя ўласцівасці азёрна-алювіяльных адкладаў аўтарамі былі вывучаны некаторыя фізічныя характарыстыкі дадзеных утварэнняў, а таксама іх грануламетрычны і мікраагрэгатны склады. Грунт быў адабраны БелНДПІнафта вытворчага аб’яднання «Беларуснафта» падчас інжынерна-геалагічных вышуканняў у Рэчыцкім раёне. Падчас лабараторных даследаванняў вызначаліся такія паказчыкі, як гіграскапічная вільготнасць, вільготнасць максімальнага насычэння, шчыльнасць цвёрдай фазы, межы пластычнасці, грануламетрычны і мікраагрэгатны склады. Асобна ў лабараторыі ААТ «Гомельгеасервіс» быў

даследаваны змест арганічных рэчываў і карбанатаў у доследным узоры. У лабараторыі БелНДПІнафта вылічылі прыродную вільготнасць і шчыльнасць.

Вызначэнне фізічных характарыстык праводзілася па ДАСТ 5180-2015 [12], грануламетрычнага і мікраагрэгатнага складу – па ДАСТ 12536-2014 [13], масавая доля арганічных рэчываў – па ДАСТ 26213-91 [14], змест карбанатаў – па ДАСТ 21138.5-78 [15].

Вынікі і іх абмеркаванне

Вільготнасць.

Адной з самых важных характарыстык фізічнага стану пясчаных і асабліва гліністых парод з'яўляецца іх вільготнасць. Яна характарызуецца колькасцю вады, што запаўняе іх поры. У залежнасці ад ступені вільготнасці пясчаныя і гліністыя пароды могуць знаходзіцца ў розным фізічным стане, у адпаведнасці з якім змяняюцца іх трываласць, дэфармаванасць і ўстойлівасць [5].

Прыродная вільготнасць можа змяняцца ў параўнальна шырокіх межах. У пяскоў пры іншых роўных геалагічных умовах яна залежыць ад грануламетрычнага складу, наяўнасці прымесяў гліністых часцінак і арганічнага рэчыва і ад шчыльнасці стану. У гліністых грунтоў яна залежыць ад ступені дысперснасці, мінеральнага складу тонкадысперснай часткі, ёмістасці паглынання і складу паменных катыёнаў, прымесі арганікі і ступені літыфікацыі [5].

Гіграскапічная вільготнасць таксама можа змяняцца ў шырокіх межах і залежыць ад вільготнасці паветра, што знаходзіцца ў раўнавазе з дадзеным грунтам.

Па паказчыку вільготнасці максімальнага насычэння можна ацаніць агульную колькасць звязанай вады ў розных грунтах, якая залежыць ад іх адсарбцыйнай здольнасці. Апошняя абумоўлена галоўным чынам мінеральным складам грунту і датычнай з ёй дысперснасцю [3].

Мяжа цякучасці адпавядае такой вільготнасці, пры нязначным перавышэнні якой гліністая парода парушанага складу з пластычнага стану пераходзіць у цякучае і робіцца глейкай вадкасцю.

Мяжа пластычнасці адпавядае вільготнасці, пры якой гліністая парода таксама парушанага складу з паўцвёрдага стану пераходзіць у пластычнае [3].

Вільготнасныя паказчыкі пададзены ў табліцы 1.

Табліца 1. – Вільготнасныя паказчыкі доследнага ўзору

Паказчыкі	Значэнні
Прыродная вільготнасць (w), %	19,7
Гіграскапічная вільготнасць (w_g), %	1,4
Вільготнасць максімальнага насычэння (w_{sat}), %	4,2
Вільготнасць на мяжы цякучасці (w_p), %	14,87
Вільготнасць на мяжы раскатвання (w_l), %	22,75

Гіграскапічная вільготнасць склала wg = 1,4 % пры вільготнасці паветра 61 %. Максімальная вільгацяёмістасць – 4,2 %. Поўная вільгацяёмістасць адпавядае вільготнасці, пры якой усе поры запоўнены вадой. Яна вызначалася метадам насычэння.

Шчыльнасць.

Шчыльнасць – фізічная ўласцівасць грунтоў, якая колькасна ацэньваецца велічынёй дачынення іх масы да занятага аб'ёму.

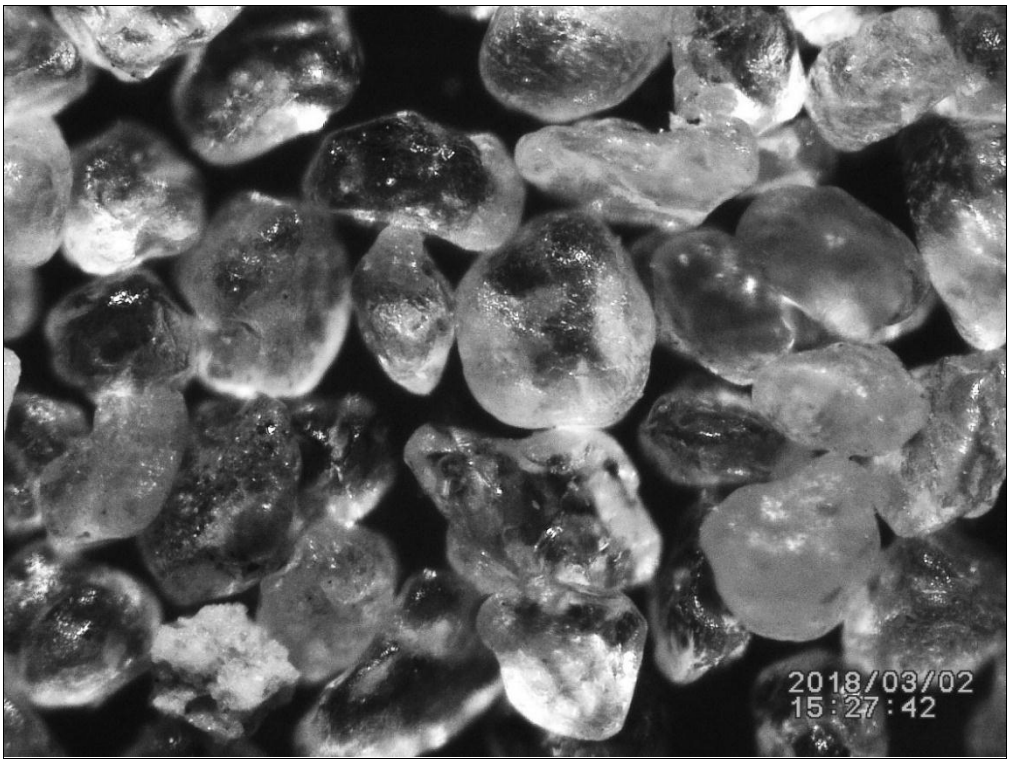
Шчыльнасць грунту мералася ў лабараторыі БелНДПІнафта вытворчага аб'яднання «Беларуснафта» і склала 1,98 г/см^3.

Шчыльнасць часцінак грунту вызначалася аўтарам і склала 2,63 г/см^3. Дадзеная характарыстыка вызначаецца мінеральным складам. Такое значэнне адпавядае шчыль-

насці розных мінералаў, напрыклад: каалініт, кварц, група гідраслюд. У фракцыі памерамі 0,25–0,5 мм гэта значэнне вызначаецца кварцам. Яго наяўнасць пацвярджаецца назіраннямі ў мікраскоп (малюнак 1).

Грануламетрычны і мікраагрэгатны склады.

Адным з найважнейшых паказчыкаў для класіфікацыі грунтоў у інжынернай геалогіі з'яўляецца грануламетрычны склад. Пад ім разумеецца колькасны змест першапачатковых часцінак па фракцыях, адлюстраваны ў адсотках па дачыненні да іх масы. Грануламетрычны скалад характарызуе лімітавую дысперснасць грунту, ён нязменны для дадзенага грунту і таму з'яўляецца класіфікацыйнай прыкметай. Мікраагрэгатны склад характарызуе не лімітавую, а натуральную дысперснасць пародаў, адлюстроўвае ступень агрэгаванасці грунту пры дадзеных умовах і можа выкарыстоўвацца для характарыстыкі структурных сувязяў у грунце [3].



Малюнак 1. – Зерні кварцу фракцыі 0,25–0,5 мм, павялічаныя ў 4 разы

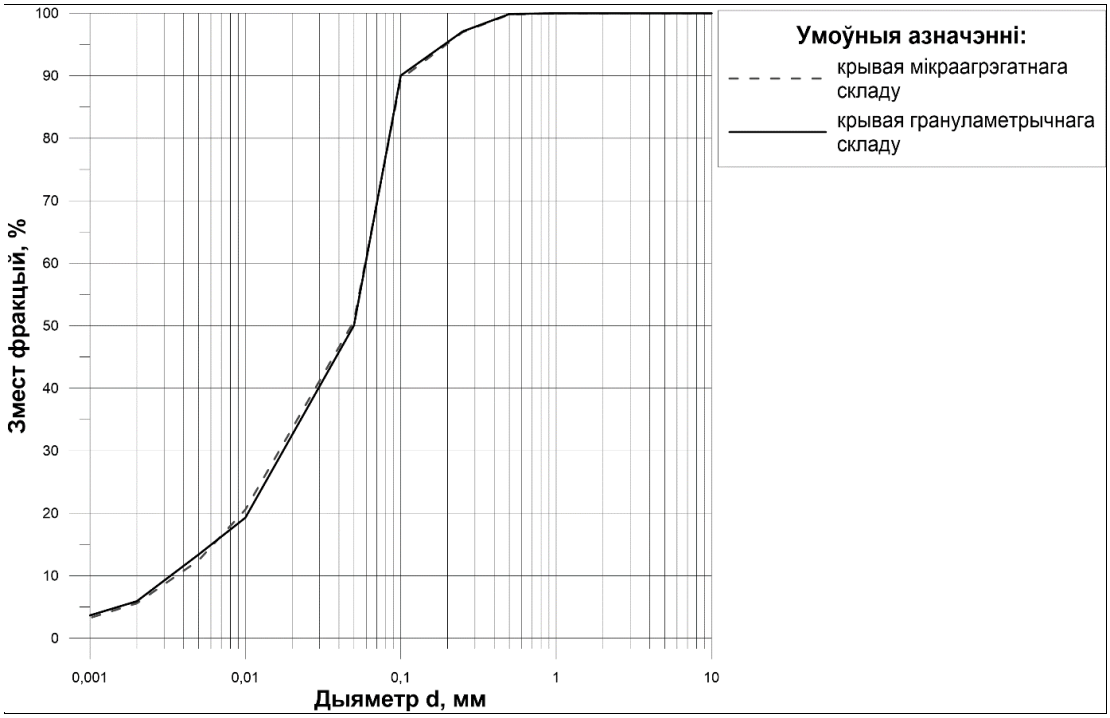
Грануламетрычны і мікраагрэгатны склады азёрна-аллювіяльных утварэнняў вызначаліся піпеткавым метадам па ДАСТ 12536-2014 [13]. Ён пададзены на малюнку 2.

На графіку абедзве крывыя практычна ідэнтычныя. Але ў гліністай частцы фракцый бачны адрозненні грануламетрычнай і мікраагрэгатнай крывых, што ўказвае на найбольшую агрэгаванасць гэтых фракцый.

Для колькаснай ацэнкі ступені агрэгаванасці грунту І. М. Горкава прапанавала вызначаць два каэфіцыенты агрэгаванасці – для тонкапылаватай (kп) і гліністай (kг) фракцый, якія ўяўляюць сабой дачыненне зместаў фракцый памерам менш за 0,005 мм і менш за 0,001 мм, адпаведна знойдзеныя пры грануламетрычным (Сг) і мікраагрэгатным (См) аналізах [3]:

$$k_{\text{п}} = \frac{C_{\text{г}}\,(0{,}005)}{C_{\text{м}}(0{,}005)}; k_{\text{г}} = \frac{C_{\text{г}}\,(0{,}001)}{C_{\text{м}}(0{,}001)}. \quad (1)$$

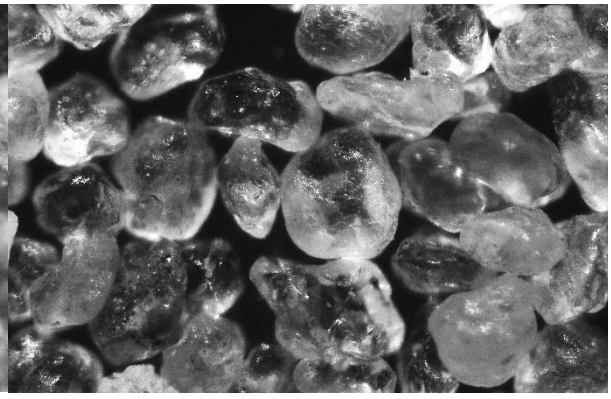
Калі агрэгаванасць адсутнічае, то гэтыя каэфіцыенты роўныя 1, а ў адваротным выпадку яны >1. Значэнні каэфіцыентаў склалі $k_{\text{п}} = 1{,}07;\ k_{\text{г}} = 1{,}12$. Такім чынам, у дадзеным выпадку агрэгаванасць часцінак узрастае на 4 % са змяншэннем іх памеру з 0,005 да 0,001 мм.



Малюнак 2. – Крывая грануламетрычнага і мікраагрэгатнага складаў азёрна-алювіяльных адкладаў

Агрэгаванасць часцінак наглядна пададзена на малюнках 3а і 3б. Тут адлюстраваны часцінкі фракцый 0,25–0,5 мм, павялічаныя ў 4 разы. На малюнку 3а паказаны часцінкі да разбурэння мікраагрэгатаў, а на малюнку 3б – пасля разбурэння.

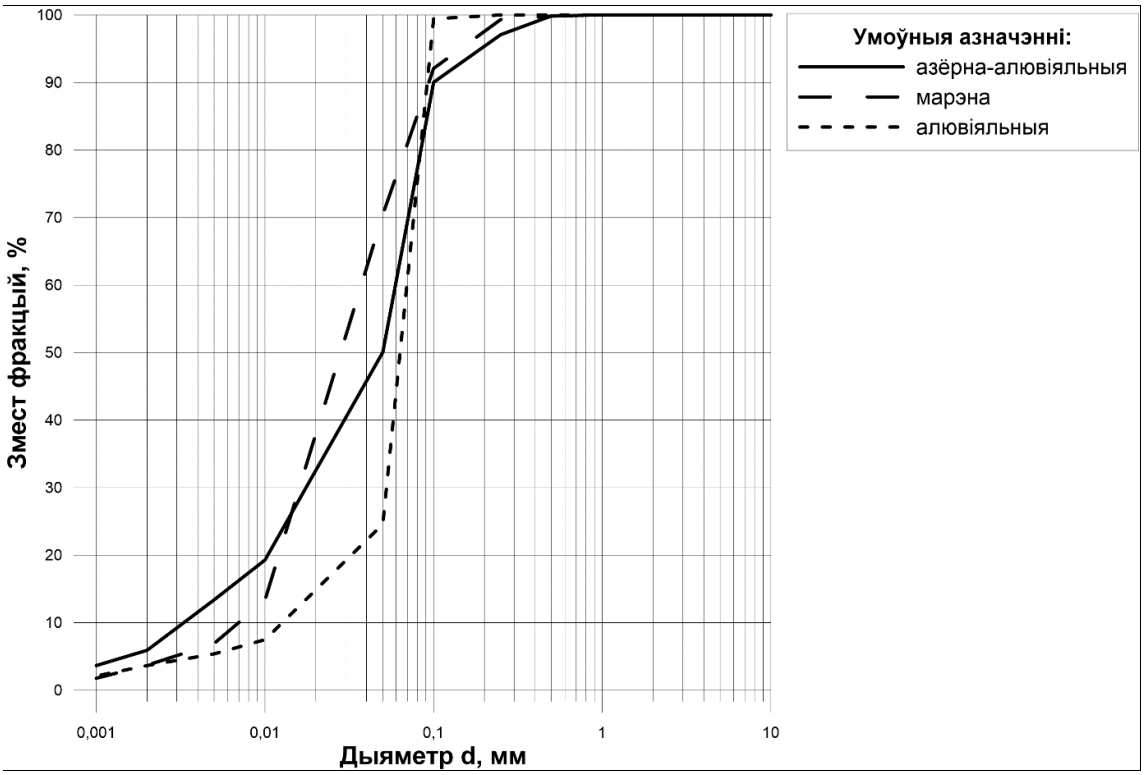
Малюнак 3а. – Часцінкі грунту, счэпленыя ў агрэгаты



Малюнак 3б. – Асобныя гранулы грунту

Нераўнамерны змест розных фракцый у грунце характарызуецца яго неаднастайнасцю. Пакаты характар крывых сведчыць пра дрэнную адсартаванасць грунту, а круты нахіл – пра добрую. На малюнку 4 адлюстраваны крывыя грануламетрычнага складу азёрна-алювіяльных, алювіяльных і марэнных адкладаў. Азёрна-алювіяльныя ўтварэнні

пададзены суглінкам, астатнія – супескамі. Заўважна, што найболей пакатай крывой валодаюць азёрна-алювіяльныя адклады, што ўказвае на дрэнную сартаванасць грунту. Гэта пацвяржаецца і пры вызначэнні лікавай характарыстыкі адсартаванасці з выкарыстаннем каэфіцыента неаднастайнасці (Cu). Ён заснаваны на ўліку зместу часцінак двух характэрных дыяметраў – d60 і d10 [3].



Малюнак 4. – Крывая грануламетрычнага складу азёрна-алювіяльных, алювіяльных і марэнных адкладаў

Значэнні каэфіцыентаў неаднастайнасці пададзены ў табліцы 2. Найбольшым значэннем каэфіцыента вылучаюцца азёрна-алювіяльныя адклады. Як ужо адзначалася вышэй, гэтыя адклады з'яўляюцца складанымі парагенетычнымі ўтварэннямі, якія пададзены спалучэннем алювіяльных і азёрных фацый пры зніжэнні хуткасці плыні аж да застойных умоў. Гэта можа растлумачыць высокую неаднастайнасць доследнага ўзору.

Табліца 2. – Каэфіцыенты неаднастайнасці

Адклады	Дыяметр часцінак, мм		Каэфіцыент неаднастайнасці, C_u
	d_{60}	d_{10}	
азёрна-алювіяльныя	0,059	0,003	19,67
марэнныя	0,037	0,007	5,29
алювіяльныя	0,070	0,012	5,83

Пластычнасць

Пад пластычнасцю грунту разумеецца яго здольнасць дэфармавацца без разрыву суцэльнасці пад уздзеяннем знешніх механічных высілкаў і захоўваць атрыманую форму пасля іх здымання. Параметрамі пластычнасці грунтоў, што выкарыстоўваюцца ў інжынерна-геалагічнай практыцы, з'яўляюцца ніжняя (Wp) і верхняя (WL) межы пластычнасці (табліца 1), лік пластычнасці (Ip) і паказчык кансістэнцыі (IL) [3]. Лік пластычнасці ўзору склаў Ip = 7,88. Паводле СТБ 943-2007, ён класіфікуецца як

суглінак. Паказчык кансістэнцыі склаў IL = 0,61. Дадзенае значэнне адпавядае пластычнай кансістэнцыі грунту.

У наш час існуе некалькі гіпотэз, што тлумачаць прыроду пластычнасці грунтоў. Найболей шырока пашыраныя калоідная і гідратная гіпотэзы [3]. Калоідная заснавана на тым, што калоіды, якія прысутнічаюць у глінах, з'яўляюцца «змазкай» паміж часцінкамі пры іх адносным перасоўванні. Гідратная гіпотэза прадугледжвае наяўнасць тонкай праслойкі вадкай дысперснай серады, таўшчыня якой адпавядае мінімуму вольнай энергіі сістэмы. Наяўнасць гэтай праслойкі вадкасці ў пляцоўках каагуляцыйнага счаплення перашкаджае далейшаму збліжэнню часцінак, таму каагуляцыйныя сістэмы пластычныя [3].

Галоўны ўплыў, што вызначае прыроду пластычнасці гліністых парод, аказвае мінеральны склад тонкадысперснай часткі і актыўнае ўзаемадзеянне яе з вадой – гідрафільнасць.

Сувязь паміж складам гліністых парод, іх калоідна-хімічнымі ўласцівасцямі і пластычнасцю выяўляюць паказчыкам калоіднай актыўнасці. Гэты паказчык характарызуе адносны змест у тонкадысперснай частцы гліністай пароды мінералаў з рознай калоідна-хімічнай актыўнасцю. Яго вызначаюць з суадносін:

$$K_p = \frac{I_P}{M_C}, \tag{2}$$

дзе K_p – паказчык калоіднай актыўнасці; I_p – лік пластычнасці, %; M_C – змест гліністых часцінак (<0,005 мм) у пародзе [5].

Гідрафільнасць гліністых мінералаў вызначаецца ўдзельнай паверхняй і залежыць ад іх складу і структуры [3]. Гідрафільнасць гліністай фракцыі і яе калоідную актыўнасць можна вызначыць пры паралельным вызначэнні пластычнасці грунтоў і зместу гліністай фракцыі.

Паказчык гідрафільнасці вызначаецца з выразу:

$$K = \frac{W_L}{M_C}, \tag{3}$$

дзе W_L – вільготнасць на мяжы раскатвання, %; M_C – змест гліністых часцінак (<0,005 мм) у пародзе [16].

Значэнні гэтых паказчыкаў для азёрна-алювіяльных, алювіяльных і марэнных адкладаў пададзены ў табліцы 3. Пры значэнні паказчыка калоіднай актыўнасці менш за 0,75 такія грунты ставяцца да парод з нізкай калоіднай актыўнасцю; пераважае ў такіх выпадках мінерал каалініт [16].

Табліца 3. – Паказчыкі калоіднай актыўнасці і гідрафільнасці гліністай фракцыі

Адклады	Паказчык калоіднай актыўнасці			Паказчык гідрафільнасці гліністай фракцыі		
	I_p	M_c	K_p	W_L	M_c	K
азёрна-алювіяльныя	7,88	13,38	0,589	22,75	13,38	1,7
алювіяльныя	8,5	14,2	0,599		14,2	
марэнныя	9,11	16,8	0,542	23,6	16,8	1,4

Умовы ападканазапашвання

Па шэрагу фізічных, хімічных і іншых уласцівасцяў, а таксама дадзеных пра грануламетрыю грунту можна аднавіць умовы, у якіх фарміраваліся адклады.

Так, выходзячы з прадстаўленых вышэй дадзеных, можна выявіць наступныя ўмовы назапашвання дасследнага ўзору грунту. Па ліку пластычнасці ён ставіцца да суглінкаў. Па мінеральным складзе ў пясчанай фракцыі пераважае кварц (па значэнні

шчыльнасці часцінак грунту), а ў гліністай – каалініт (па паказчыку калоіднай актыўнасці). Па змесце арганікі (I_{om}) доследны ўзор ставіцца да віду грунту без прымесі арганічнага рэчыва [17]. Паводле дадзеных лабараторыі ААТ «Гомельгеасервіс», змест арганікі склаў I_{om} = 1,9 %. Нізкі змест арганічных рэштак указвае на працёкавы характар азёр, у якіх сфарміравалася парода. Там жа быў вызначаны змест карбанату кальцыю, які склаў 5,0 %. Яго наяўнасць можна патлумачыць тым, што высокі ўзровень грунтовых вод ва ўмовах алеродскага пацяплення стымуляваў інтэнсіўнасць хімічнага выветрывання марэны і паступлення мінеральных салей у азёры і балоты [18]. Магчымасць выпадзення $CaCO_3$ у асадак можа паказваць на змену тэрмадынамічных і гідрагеахімічных ўмоў, што злучана са зніжэннем хуткасці цёку воднага струменя. Гэта запавольванне магло ўзнікаць у працёкавых азёрах ці азёрападобных пашырэннях рэчышчаў рэк. На складаны характар спалучэння алювіяльных і азёрных фацый указвае высокі каэфіцыент неаднастайнасці.

Высновы

На падставе дадзеных, атрыманых пры вывучэнні фізічных уласцівасцяў азёрна-алювіяльных адкладаў, а таксама іх грануламетрычнага і мікраагрэгатнага складаў, былі прапанаваны ўмовы, у якіх маглі сфарміравацца гэтыя ўтварэнні. Шэраг паказчыкаў, такіх як высокі каэфіцыент неаднастайнасці (C_u = 19,67), нізкі змест арганічнага рэчыва (I_{om} = 1,9 %), наяўнасць карбанату кальцыю (5,0 %), пацвярджае гіпотэзу аб утварэнні гэтых адкладаў ва ўмовах запавольвання хуткасці воднага струменя ў азёрападобных пашырэннях рэчышчаў рэк.

СПІС ВЫКАРЫСТАНАЙ ЛІТАРАТУРЫ

1. Инженерная геология Беларуси : в 3 ч. / А. Н. Галкин ; под науч. ред. В. А. Королева. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2016–2018. – Ч. 1 : Грунты Беларуси. – 2016. – 367 с.

2. Геология Беларуси / под ред. А. С. Махнача [и др.]. – Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.

3. Грунтоведение / под ред. В. Т. Трофимова [и др.]. – М. : Изд-во Моск. ун-та : Наука, 2005. – 1023 с.

4. Кухарчик, Ю. В. Геология четвертичных отложений : пособие / Ю. В. Кухарчик. – Минск : БГУ, 2011. – 160 с.

5. Ломтадзе, В. Д. Инженерная геология. Инженерная петрология / В. Д. Ломтадзе. – Л. : Недра, 1984. – 511 с.

6. Санько, А. Ф. Генетические типы и фации четвертичных отложений Беларуси / А. Ф. Санько, В. И. Ярцев, А. В. Дубман. – Минск : Право и экономика, 2012. – 311 с.

7. Чистяков, А. А. Четвертичная геология : учебник / А. А. Чистяков, Н. В. Макарова, В. И. Макаров. – М. : ГЕОС, 2000. – 303 с.

8. СТБ 17.04.02-02-2013. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Условные обозначения. – Минск : Госстандарт, 2013. – 75 с.

9. Геологический словарь : в 2 т. / К. Н. Паффенгольц [и др.] ; под ред. К. Н. Паффенгольц. – М. : Недра, 1973. – Т. 2 : Н–Я. – 456 с.

10. Горецкий, Г. И. Геологическая карта четвертичных отложений БССР / Г. И. Горецкий. – Масштаб 1 : 500 000, 5 км в 1 см. – Л. : Всесоюз. науч.-исслед. геол. ин-т, 1988.

11. Чацвяртічныя адклады [Карты]. Масштаб 1 : 2 500 000, 25 км в 1 см // Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск : Белакартаграфія, 2002. – С. 42–43.

12. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик : ГОСТ 5180-2015. – Взамен ГОСТ 5180-84 ; введ. 01.04.2016. – М. : Стандартинформ, 2016. – 23 с.

13. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава : ГОСТ 12536-2014. – Взамен ГОСТ 12536-79 ; введ. 01.07.2015. – М. : Стандартинформ, 2015. – 22 с.

14. Почвы. Методы определения органического вещества : ГОСТ 26213-91. – Взамен ГОСТ 26213-84 ; введ. 29.12.1991. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 7 с.

15. Мел. Метод определения массовой доли углекислого кальция и углекислого магния : ГОСТ 21138.5-78. – Взамен ГОСТ 13147-67 ; введ. 30.06.1979. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 5 с.

16. Грунтоведение / под ред. Е. М. Сергеева [и др.]. – М. : Изд-во МГУ, 1983. – 392 с.

17. Грунты. Классификация : СТБ 943-2007.– Взамен СТБ 943-93; введ. 01.01.2008. – Минск : Госстандарт, 2008. – 24 с.

18. Якушко, О. Ф. Основные этапы позднеледниковья и голоцена Белоруссии / О. Ф. Якушко, Н. А. Махнач // Проблемы палеогеографии антропогена Белоруссии. – Минск, 1973. – С. 76–67.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 19.03.2020

УДК 519.254:550.822(476)

А. Н. Маевская[1], Н. Н. Шешко[2], М. А. Богдасаров[3]
[1]магистр геогр. наук, аспирант каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени. А. С. Пушкина
[2]канд. техн. наук, доц., нач. научно-исследовательской части
Брестского государственного технического университета
[3]д-р геол.-минерал. наук, проф., член-кор. НАН Беларуси,
зав. каф. географии и природопользования
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
e-mail: [1]maevskaya.anna@inbox.ru

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ (НА ПРИМЕРЕ МАТЕРИАЛОВ БУРОВОЙ ИЗУЧЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ)

Рассмотрена проблема «больших данных», подходы к их классификации, а также основные методы, применяемые при их обработке. Приведен анализ наиболее распространенных способов предварительного статистического анализа пространственных данных. На примере информации, полученной в результате геологических изысканий, проведенных на территории Брестской области, разработан алгоритм, позволяющий с применением геоинформационных технологий осуществлять обработку данных геологического бурения. Представленный алгоритм включает в себя несколько последовательных этапов и учитывает существующие подходы к анализу пространственных данных. Для автоматизации процессов обработки информации создан набор инструментов «processing of geological data».

MAYEVSKAYA A. N., SHESKO N. N., BOGDASAROV M. A.

ALGORITHM FOR PROCESSING DATA OF GEOLOGICAL SURVEYS USING GIS TECHNOLOGIES (ON THE EXAMPLE OF THE MATERIALS OF DRILLING STUDY OF BREST REGION TERRITORY)

The problem of «big data», the approaches to their classification, as well as the main methods used in their processing are considered. The analysis of the most common methods of preliminary statistical analysis of spatial data is presented. On the example of information obtained as a result of geological surveys carried out on the territory of the Brest region, an algorithm has been developed that allows, using geoinformation technologies, to process geological drilling data. The presented algorithm includes several sequential stages and takes into account existing approaches to the analysis of spatial data. A set of tools «processing of geological data» has been created to automate information processing processes.

Введение

В настоящее время в различных областях человеческой деятельности отмечается активный рост объемов накапливаемой информации и увеличение скорости ее производства. В связи с этим высокую актуальность приобретает проблема «больших данных». Зачастую понятие big data, или «большие данные» (калька с англ.), употребляют, когда речь идет о данных больших объемов или о технологиях обработки и использования, методах поиска необходимой информации, которые применяются при работе с ними [1; 2]. Традиционно «большие данные» разделяют на две категории: 1) данные, получаемые в результате проведения научных наблюдений и экспериментов; 2) данные, получаемые из социальной сферы (социальные сети, интернет, экономика) [3].

Некоторые авторы отмечают, что значительная часть «больших данных» относится к типу геопространственнных. Такие данные могут быть представлены тремя формами: растровые данные (геоизображения), векторные данные (точки, линии, многоугольники), графические данные [4].

Технологии, применяемые при обработке «больших данных», призваны выполнять три основные операции: 1) обработка больших по сравнению со «стандартными» сценариями объемов данных; 2) умение работать с быстро поступающими данными в больших объемах; 3) умение работать как со структурированными, так и неструктурированными данными параллельно в разных аспектах [5].

Работа с большими потоками информации осуществляется по принципу «Volume» – объем; «Velocity» – быстродействие обработки; «Variety» – разнообразие сведений, хранящихся в массиве. Сегодня к этим трем принципам присоединяется четвертый – «Value», что обозначает ценность информации. Следовательно, информация должна нести теоритическую и практическую значимость, что, в свою очередь, будет оправдывать затраты на ее хранение и обработку.

В целом для обработки больших массивов информации применяются такие техники и методы, как машинное обучение, имитационное моделирование, прогнозная аналитика, искусственные нейронные сети, пространственный и статистический анализ, визуализация аналитических данных и др.

Постановка проблемы

В результате непрерывного роста скорости накопления «больших данных» возрастает актуальность разработки алгоритмов автоматизированной обработки таких наборов информации применительно к решению конкретных задач, возникающих в различных научных направлениях.

Целью работы является создание алгоритма автоматизированной обработки сведений, полученных по результатам геологических изысканий, проводимых в разное время специалистами РУП «Белгеология». Имеющиеся данные отражают информацию о строении четвертичных отложений территории Брестской области и включают в себя около 5 000 точек.

Поскольку рассматриваемые в нашем исследовании данные относятся к типу геопространственных, качественная их обработка невозможна без применения специализированных программных ГИС-продуктов. В данном случае был использован настольный пакет ArcGIS 10.5.

Важно подчеркнуть, что обработка имеющегося набора данных, а также выполнение на их основе моделирования геологических поверхностей с применением традиционных способов обработки пространственной информации (т. е. вручную) была бы практически невыполнимой задачей. Это обусловлено тем, что картографирование геологических подземных структур – сложный процесс. Для построения только одной структурной геологической карты, вне зависимости от варианта ее создания (метод треугольников, метод профилей, метод схождения и др.), необходимо выполнить ряд трудо-емких шагов. Во-первых, нанести имеющиеся структурные точки на топографическую основу с указанием абсолютных отметок залегания пласта. Во-вторых, провести интерполирование, качество которого в значительной степени зависит от навыков специа-листа, а также от ряда других субъективных факторов. В-третьих, на основе интерполированной поверхности построить изолинии. Все вышеперечисленное – далеко не полный список действий, которые необходимо произвести для построения картографической модели вручную. Кроме того, на каждом этапе ручной отрисовки могут допускаться ошибки, на исправление которых уходит много времени. Еще одним минусом традиционной обработки пространственных данных является то, что удаление точек с аномалиями зачастую производится «на глаз», без учета основных принципов пространственной статистики, или вовсе не осуществляется. Это, в свою очередь, может приводить к значительным искажениям картографируемого явления [6–8].

Результаты и их обсуждение

В работе представлен алгоритм, предусматривающий последовательность обработки данных, отражающих результаты геологических изысканий, выполненных на территории Брестской области в программном продукте ArcGIS 10.5 (рисунок 1). Рассмотрим более подробно этапы реализации алгоритма.

Рисунок 1. – Алгоритм, предусматривающий последовательность обработки данных, отражающих результаты геологических изысканий

I. Подготовительный этап. В рамках данного этапа с целью сбора данных, отражающих основные характеристики, получаемые в ходе геологического бурения, было выполнено проведение инвентаризационных работ. На основе собранных материалов в программной среде Microsoft Access была создана полная инвентаризационная

база данных геологических скважин. Разработанная база включает следующие сведения: номер скважины, координаты расположения (широта и долгота), альтитуда устья, забой, год бурения, глубина залегания слоев, сведения о стратиграфии и литологии, сведения о районе расположения скважины и локальной структуре, к которой она приурочена. Наличие географических координат каждой скважины позволяет внедрять спроектированную базу в ГИС-оболочки с функцией автоматического создания точечного слоя.

Реализованная база данных соответствует требованиям, предъявляемым к созданию баз данных ГИС, и является: 1) полной, достаточно подробной для предполагаемого создания картографического продукта, включает все необходимые сведения для осуществления анализа или математико-картографического моделирования исследуемого объекта; 2) позиционно точной, абсолютно совместимой с другими данными, которые могут добавляться в нее; 3) достоверной, правильно отражающей характер явлений; 4) легко обновляемой.

II. Этап проверки корректности исходных данных. В рамках данного этапа был осуществлен поиск «выбросов» в данных, т. е. опорных точек, которые сильно выбиваются из последовательности, не вписываются в модель по какой-либо причине.

Для обнаружения аномальных значений в имеющемся наборе данных рассматривалось применение нескольких методов, встречающихся в научной литературе по статистике и геостатистике [9–16].

1. Использование инструментов исследовательского (научного) анализа (ESDA), представленных в модуле ArcGIS Geostatistical Analyst. В частности, для поиска точек с аномальными значениями применяется три основных инструмента: построение гистограмм, построение облака вариограммы/ковариации, построение карт Вороного [17]. Однако применение данного набора инструментов в условиях имеющихся данных не позволило получить корректных результатов. Так, например, инструмент «построение облака вариограммы/ковариации» по умолчанию работает с наборами данных, в которые входит максимум 500 точек данных, что гораздо меньше, чем в рассматриваемом в данной работе наборе данных.

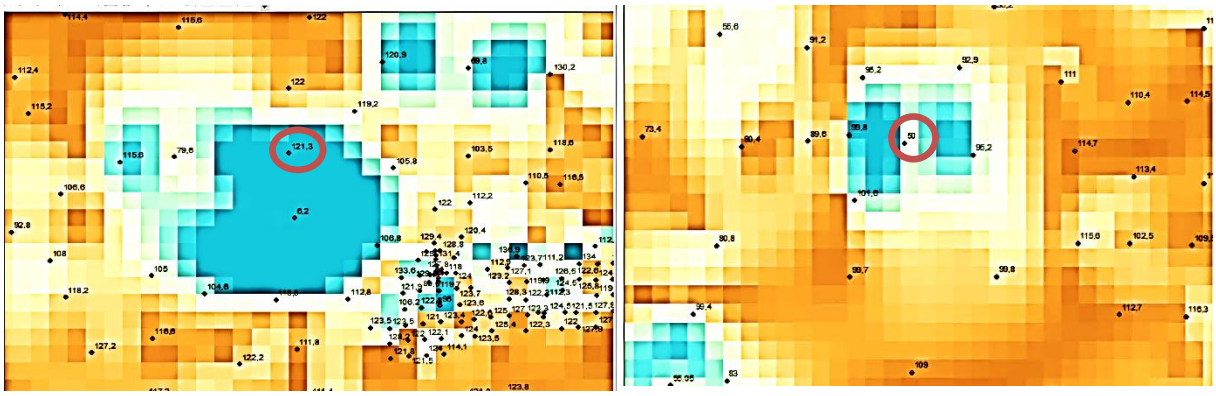
При работе с инструментом «гистограмма» отмечается наличие участков, на которых в качестве «выбросов» отображаются точки с корректными по сравнению с окружающим набором данных значениями. Кроме того, при использовании данного метода невозможно выполнение последующего одновременного автоматического удаления точек с «выбросами». Построение карт Вороного на основе кластерного метода и метода энтропии также не позволило выявить весь набор точек с выпадающими значениями.

2. Поиск выбросов на основе вычисления среднеквадратичного отклонения. Для реализации данного способа было выполнено построение растра среднеквадратичного отклонения с применением метода «скользящего окна» *(Spatial Analyst – Neighborhood – Focal statistic)* с заданием разных типов (круг, кольцо, клин, прямоугольник), а также параметров окрестности.

Применение разных параметров окрестности влияет на величину среднеквадратичного отклонения, но зоны с высоким среднеквадратичным отклонением при этом остаются неизменными. Таким образом, в дальнейшем рассматривался вариант проведения классификации полученного растра и удаление ячеек с высокими показателями дисперсии. Однако после проведения более детального визуального анализа полученных поверхностей, можно было заметить, что на некоторых участках в число ячеек, отображающих данные с «выбросами», попадают значения, не требующие удаления (рисунок 2а), либо точка с экстремумом попадает в пределы участка растра с нормальными показателями данного параметра (рисунок 2б).

1. Поиск «выбросов» в данных с применением инструмента «кригинг» (kriging). В качестве еще одного варианта для поиска аутлайеров было рассмотрено проведение интерполяции способом кригинга, который представляет собой метод, основанный на статистических характеристиках входных данных, таких как среднее значение и дисперсия [18; 19].

Идея применения данного метода для поиска «выбросов» заключается в следующем: при построении модели интерполированной поверхности данным инструментом точки с аномальными значениями не учитываются в построении. Таким образом, разница между исходным значением в данной точке «выброса» и проинтерполированным значением по методу кригинга будет очень сильно отличаться. Таким образом, данные полученные по ошибкам интерполяции с применением данного метода могут быть использованы для поиска «выпадающих» значений.



а) пример, когда в число ячеек, отображающих данные с выбросами, попадают точки, не требующие удаления

б) пример, отражающий случай, когда точка с экстремумом попадает в ячейку с нормальными показателями

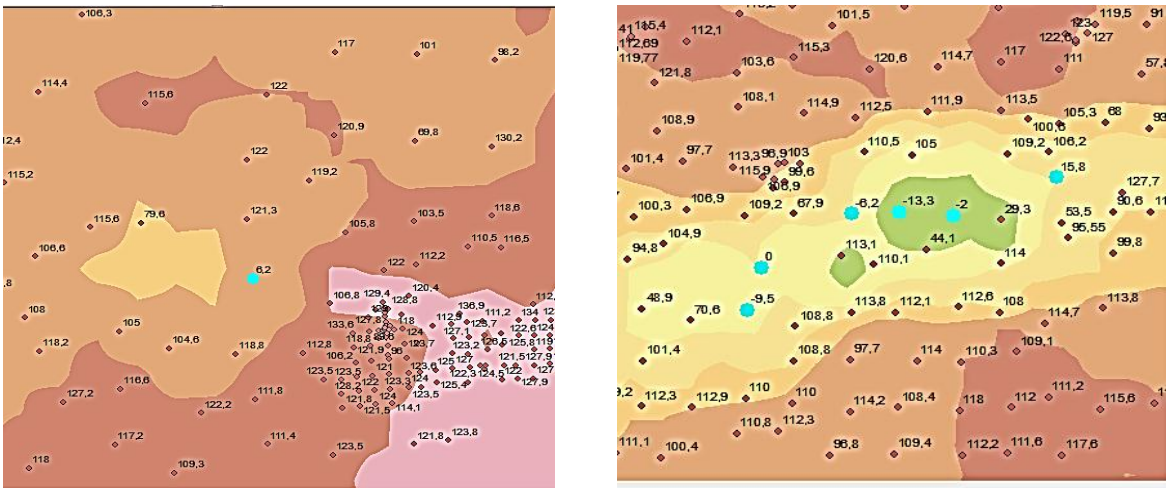
Рисунок 2 – Пример использования инструмента «Focal statistic» для поиска выпадающих значений

В данной работе использован метод ординарного кригинга, представленный в наборе инструментов Spatial Analyst. В ходе построения были использованы разные параметры создания интерполяционной модели. Наибольшее влияние среди возможных задаваемых характеристик оказал радиус поиска.

Затем полученные в ходе интерполяции результаты были добавлены в исходную таблицу атрибутов с использованием инструмента *«Extract»*. После чего в калькуляторе поля было выполнено вычитание полученных в ходе интерполяции результатов из исходных данных, таким образом выявлены показатели ошибки между проинтерполированным значением и значением в исходной точке.

Выполнив анализ ошибок, получаемых разными параметрами кригинга, выбор остановился на мерах, задаваемых инструментом по умолчанию. Применение стандартных характеристик для имеющегося набора данных показало наиболее приемлемые результаты. В дальнейшем на основе атрибута с рассчитанной разницей были выбраны опорные точки с высокими показателями ошибки (рисунок 3).

Таким образом, именно метод ординарного кригинга проявил себя наиболее пригодным для анализа «выбросов» в нашем наборе данных (рисунок 3а). Применение этого способа не затрачивает много времени. Но стоит отметить, что при его использовании, кроме абсолютных ошибок отображаются и скважины, приводящие к локальным искажениям (рисунок 3 б).



а) пример скважины, в которой ошибка интерполяции превысила значение 50

б) пример, когда в ходе выборки отображаются значения, приводящие к локальным искажениям

Рисунок 3. – Пример использования инструмента кригинга для поиска «выбросов» в данных

III. Этап моделирования граничных геологических поверхностей. Данный этап включал в себя несколько последовательный шагов и выполнялся с учетом существующих подходов к созданию геологических структурных поверхностей [20–23]:

Шаг 1. Выбор метода моделирования. В современном научном исследовании сформировалось два основных логических метода формулирования моделей – индуктивный и дедуктивный [24] – вне зависимости от того, о какой модели идет речь. Для проектирования геолого-генетической модели, представленной в данной работе, был выбран метод от общего к частному, т. е. построение от более крупных стратиграфических подразделений к наименьшим, т. к. именно построение моделей крупных структур лучше поддается процессам автоматизации.

Шаг 2. Выбор инструмента интерполяции. Он осуществлялся из представленных в наборе инструментов модуля *Spatial Analyst* программного продукта ArcGIS 10.5. При выборе подходящего для обработки имеющегося набора данных инструмента учитывались следующие особенности: количество опорных точек; плотность их расположения по территории; природа данных, планируемая область применения. При этом, как отмечают некоторые авторы, наиболее важное значение среди вышеописанных параметров играет количество опорных точек. Если в основе построений лежит густая сеть опорных точек, эффективность использования ГИС-технологий для выявления и анализа геологического строения территории является высокой. В то же время при разреженной сети исходных данных применение методов автоматической интерполяции для построения моделей погребенного рельефа является невозможным [25]. В целом все виды интерполяции, представленные в данном наборе инструментов, показали корректные результаты, что обусловлено достаточно густой сетью опорных точек.

Шаг 3. Моделирование. Он состоял из нескольких подэтапов:

1) подготовка исходных данных, когда выполнялось объединение стратиграфических подразделений до самого высокого стратиграфического уровня; в данном случае – отдел (*Data Management Tools – Generalization – Slove by atribute*);

2) выборка слоев из объединенной базы данных (*Analysis Tools – Extract – Select*);

3) построение grid-моделей кровли и подошвы стратиграфических горизонтов.

IV. Этап верификации построенных поверхностей. Он реализовывался с учетом основных принципов анализа растровых поверхностей в ГИС [26–28]. Этот этап необходим для проверки корректности построенных интерполяционных моделей.

Первоначально в рамках реализации данного этапа был осуществлен поиск ошибок моделирования. Для обнаружения ошибок была выполнена переклассификация полученных поверхностей, изначально смоделированных с одинаковым разрешением растра (*Spatial Analyst – Reclassify – Reclasiffy*) по значениям ячеек кровля, подошва (например, подошва голоцена и кровля плейстоцена). После этого с использованием инструмента *Map Algebra*, представленного в наборе инструментов Spatial Analyst, производилось вычитание данных поверхностей (рисунок 4):

$$R_{\text{о}} = r_{\text{п}} - r_{\text{к}},$$

где $R_{\text{о}}$ – растр ошибок; $r_{\text{п}}$ – переклассифицированный растр подошвы вышележащего слоя; $r_{\text{к}}$ – переклассифицированный растр кровли нижележащего слоя.

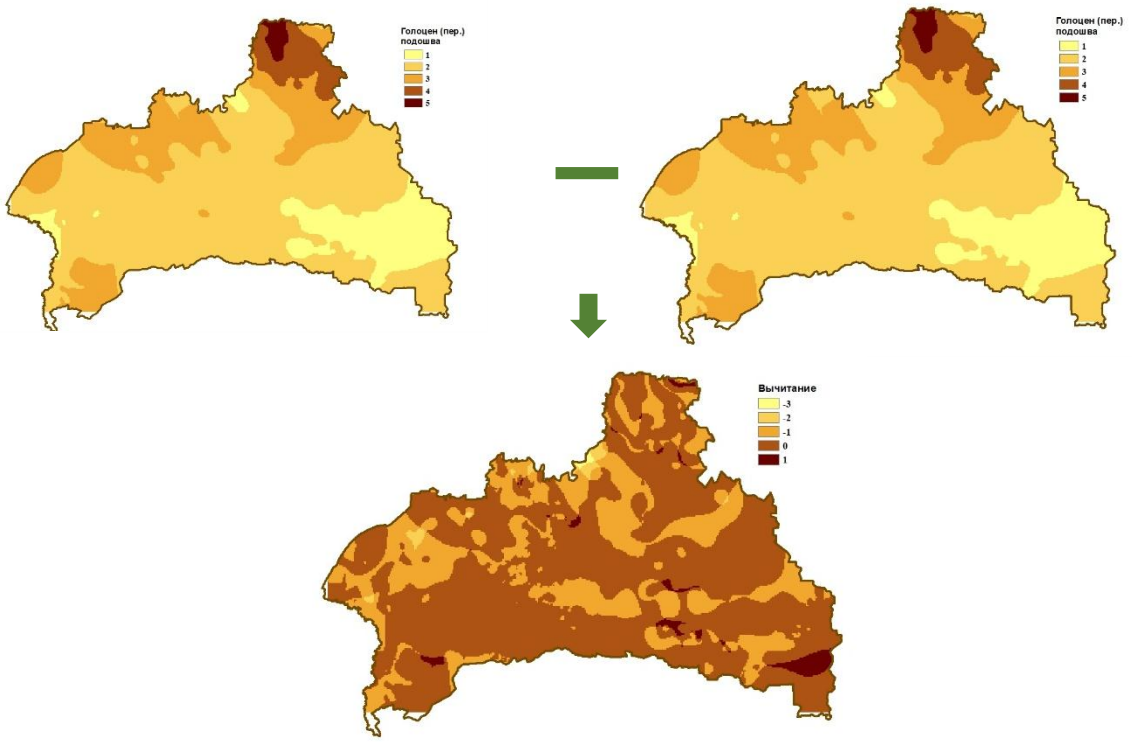


Рисунок 4. – Пример вычитания переклассифицированных поверхностей

Учитывая, что не каждая из стратиграфических единиц занимает всю территорию Брестской области, при вычитании растров в параметрах среды задавался «экстент обработки», как у наибольшего по размерам растрового слоя. Таким образом, на месте отсутствующей поверхности при вычитании автоматически устанавливается значение «no data».

Далее растр со значением «no data» обрабатывается функцией isNull, в результате чего подставляются необходимые показатели из другого растра или значения, получаемые при вычитании нескольких растровых поверхностей. Например,

$$Con\left(("R_{\text{о}}" == 0), \text{R}_{\text{р}}, r_{\text{п}} - r_{\text{кн}}\right),$$

где $R_{\text{о}}$ – растр обработанный функцией isNull, $\text{R}_{\text{р}}$ – результирующий растр, полученный в результате вычитания двух поверхностей; $r_{\text{п}}$ – растр подошвы слоя; $r_{\text{кн}}$ – растр кровли слоя, расположенного через одну стратиграфическую единицу.

Таким образом, если значение пиксела в растре R_o равно нулю, то выражение записывает в результат (в пиксель) значение, полученное при вычитании растров подошвы и кровли, если условие не выполняется, в результат (пиксель) записывается значение, получаемое из других растров (дополнительного растра), который нужно подставить (например, кровли слоя, лежащего через один горизонт).

По результатам обработки растра формируются 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 (усреднения) поверхностей с ошибками было рассмотрено два варианта, которые позволяют получить корректные результаты: во-первых, использование инструмента *Spatial Analyst – Lokal – Cell Statistics*, который позволяет вычислять статистику на основе значений ячеек из нескольких растров; во вторых, с использованием инструмента Con (Conditional):

$$Con(("r_п"! = "r_к"), "r_п" + "r_к"/2).$$

Следовательно, если значения ячеек растра кровли будут отличаться от значений ячеек растра подошвы, то в результирующий растр будет записано среднее значение ячеек обоих растров (рисунок 5).

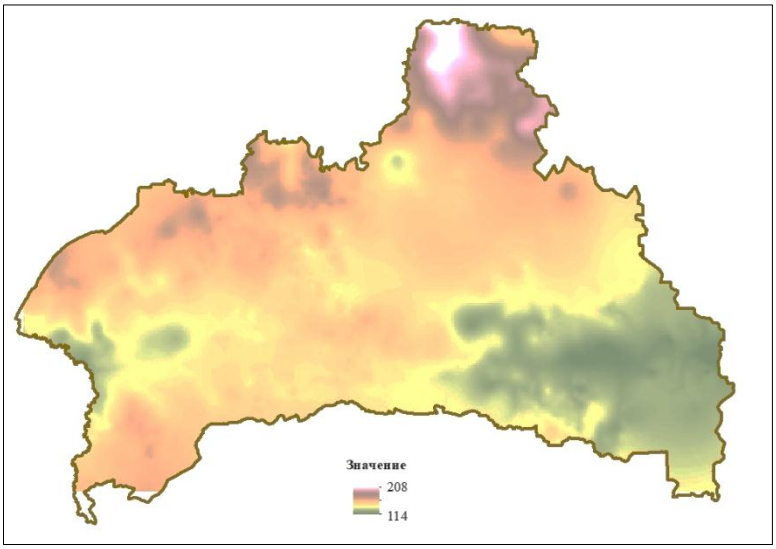


Рисунок 5. – Поверхность,
полученная в результате уравнивания

На завершающем этапе для автоматизации процессов обработки данных геологического бурения по разработанному алгоритму был создан набор инструментов *«processing of geological data»* (POGD), включающий себя ряд разработанных авторских моделей.

Заключение

В связи с увеличением объемов накапливаемой информации в различных сферах науки возникает необходимость разработки алгоритмов автоматизированной обработки информации. Учитывая, что значительная часть накапливаемых данных относится

к типу геопространственных, разработка методических аспектов их обработки тесным образом связана с применением ГИС-технологий.

В работе показан механизм создания алгоритма обработки данных, получаемых в результате геологических изысканий с возможностью автоматизации процесса обработки в программной среде ArcGIS 10.5. Разработанный алгоритм включает в себя несколько последовательных взаимосвязанных этапов и позволяет выполнять предварительный анализ пространственных данных с целью обнаружения «выбросов» в них, что в конечном итоге дает возможность построить более качественную картографическую модель за счет разработанного и реализованного алгоритма уравнивания поверхностей, позволяющего минимизировать ошибки, возникающие в ходе моделирования.

Представленный в работе алгоритм успешно апробирован применительно к набору данных буровой изученности территории Брестской области и может быть использован в ходе предварительной обработки материалов геологического бурения для других территорий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Przulj, N. Network analytics in the age of big data / N. Przulj, N. Malod-Dognin // Science. – 2016. – Vol. 353, is. 6295. – P. 123–124.

2. Корнев, М. С. История понятия большие данные (big data): словари, научная и деловая периодика / М. С. Корнев // Вестн. Рос. гос. гуманитар. ун-та. Сер. Литературоведение, языкознание, культурология. – 2018. – № 4. – С. 81–85.

3. Significance and Challenges of Big Data Research / H. Jin [et al.] // Big Data Research. – 2015. – № 2. – P. 59–64.

4. Lee, J. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities / J. Lee, M. Kang // Big Data Research. – 2015. – № 2. – P. 74–81.

5. Как большие данные стали одной из самых интересных задач IT-индустрии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://postnauka.ru/specials/big-data. – Дата доступа: 03.03.2020.

6. Структурная геология и геологическое картирование : учеб. пособие / С. А. Коваль [и др.]. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2005. – 36 с.

7. Минова Н. П. Построение структурных карт : метод. указания и задания / Н. П. Минова. – Ухта : УГТУ, 2010. – 28 с.

8. Меритт, М. Моделирование подземных структур в ArcGIS / М. Меритт // ArcReview. – 2017. – № 2 (81). – С. 5–6.

9. Геостатистический анализ данных в экологии и природопользовании (с применением пакета R) / А. А. Савельев [и др.]. – Казань : Казан. федер. ун-т, 2012. –120 с.

10. How to Deal with Outliers in Your Data [Electronic resource]. – Mode of access: https://conversionxl.com. – Date of access: 21.06.2019.

11. Barnett, V. Outliers in statistical data (Probability & Mathematical Statistics) / V. Barnett, T. Lewis. – New York : Willey Press, 1978. – 188 p.

12. Додонов, Ю. С. Устойчивые меры центральной тенденции: взвешивание как возможная альтернатива усечению данных при анализе времен ответов / Ю. С. Додонов, Ю. А. Додонова // Психол. исслед. – 2011. – № 5 (19). – С. 1–14.

13. Демьянов, В. В. Геостатистика: теория и практика / В. В. Демьянов, Е. А. Савельева, Р. В. Арутюнян. – М. : Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2010. – 327 с.

14. Поротов, Г. С. Математические методы моделирования в геологии / Г. С. Поротов. – СПб : С.-Петерб. гос. горный ин-т, 2006. – 223 с.

15. Дэвис, Дж. С. Статистический анализ данных в геологии : пер. с англ. / Дж. С. Дэвис ; под ред. Д. А. Родионова. – М. : Недра, 1990. – 319 с.

16. Corizzo, R. Anomaly Detection and Repair for Accurate Predictions in Geo-distributed Big Data / R. Corizzo, M. Ceci, N. Japkowicz // Science. – 2019. – № 16. – P. 18–35.

17. ArcGIS 9. Geostatistical Analyst : Manual User. – USA : ESRI Press, 2001. – 285 p.

18. Элементарное введение в геостатистику (проблемы окружающей среды и природных ресурсов) / М. Ф. Каневский [и др.]. – М. : ВИНИТИ, 1999. –132 с.

19. Kriging – описание алгоритма [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://petroportal.ru. – Дата доступа: 21.06.2019.

20. Крошинский, В. А. Геологическое картирование северного участка Минской возвышенности на основе ГИС-технологий / В. А. Крошинский // Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых : сб. материалов Междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения акад. К. И. Лукашева, Минск, 23–25 мая 2017 г. : в 2 ч. / БГУ ; редкол.: О. В. Лукашев (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2017. – Ч. 1 : Геология и полезные ископаемые четвертичная геология, инженерная геология. – С. 36–38.

21. Курлович, Д. М. Использование ГИС-технологий для разработки баз геоданных и информационных проектов месторождений бурых углей и горючих сланцев Республики Беларусь / Д. М. Курлович // Международный конгресс по информатике: информационные системы и технологии : сб. материалов междунар. науч. конгр., Минск, 31 окт. – 3 нояб. 2011 г. / БГУ ; редкол.: С. В. Абламейко (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2011. – С. 188–193.

22. Ханжиян, Е. Геоинформационная система и база геоданных на основе карт «Атласа геологического строения и нефтегазоносности юга России» / Е. Ханжиян // ArcReview. – 2005. – № 1 (32). – С. 2–3.

23. Spatial analysis and evaluation of a coal deposit by coupling AHP & GIS techniques / N. Paraskevis [et al.] // International Journal of Mining Science and Technology. – 2019. – № 29. – P. 943–953.

24. Кошкарев, А. В. Геоинформатика / А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов. – М. : Картгеоцентр, 1993. – 213 с.

25. Миронов, О. К. Геоинформационные технологии для составления крупномасштабных геологических карт г. Москвы / О. К. Миронов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2011. – № 3. – С. 198–214.

26. Митчелл, Э. Руководство по ГИС-анализу / Э. Митчелл. – М., 2000. – 175 с.

27. Tomlin, D. C. Geographic Information Systems and Cartographic Modeling / D. C. Tomlin. – Portland : Book News. – 1990. – 249 p.

28. Кукарцев, В. В. Аппроксимация поверхности растровых карт в геоинформационной системе / В. В. Кукарцев, О. А. Антамошкин // Вестн. Сибир. гос. аэрокосм. ун-та. – 2012. – №3 (43). – С. 29–32.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 29.05.2020

УДК 631.412

Н. В. Михальчук[1], М. М. Дашкевич[2], Е. А. Брыль[2], О. А. Галуц[2], С. Н. Михальчук[3]

[1]канд. биол. наук, доц.,
директор Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси
[2]науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси
[3]мл. науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси
e-mail: info@paei.by

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОГОРОДНЫХ ПОЧВАХ ЖИЛОЙ УСАДЕБНОЙ ЗАСТРОЙКИ Г. БРЕСТА

Показано, что приоритетными элементами – загрязнителями огородных почв жилой усадебной застройки г. Бреста являются цинк и свинец. В 86,7 % исследованных проб зафиксированы уровни содержания цинка выше значений ПДК (55 мг/кг); при этом в 50 % проб уровни ПДК превышены в два и более раза. Концентрация свинца в 13,3 % образцов превышает ПДК (32 мг/кг); еще столько же проб демонстрируют значения 0,8–0,9 ПДК.

MIKHALCHUK N. V., DASHKEVICH M. M., BRYL A. A., GALUTS O. A., MIKHALCHUK S. N.

HEAVY METALS CONTENT IN GARDEN SOILS OF RESIDENTIAL ESTATE BUILDINGS IN BREST

The article contains information indicating that zinc and lead are the priority pollutants of garden soils of residential estate buildings in Brest. In 86,7 % of samples, zinc levels were higher than the permissible concentration (55 mg/kg); at the same time, in 50 % of the samples, the permissible concentration levels are exceeded by two or more times. The lead concentration in 13,3 % of the samples exceeds the permissible concentration (32 mg/kg); the same number of samples show values of 0,8–0,9 permissible concentration.

Введение

В крупных городах с развитой промышленностью и разветвленной транспортной инфраструктурой существует опасность загрязнения окружающей среды различными продуктами техногенеза. К числу приоритетных загрязнителей городских почв относятся тяжелые металлы (ТМ). Попадая в почвы, они интенсивно аккумулируются в верхнем, наиболее плодородном гумусовом горизонте. ТМ сравнительно легко накапливаются в почвах, но трудно и медленно из нее удаляются – период их полувыведения составляет от десятков и сотен лет (для цинка) до нескольких тысяч лет (для свинца). Загрязненные ТМ почвы становятся вторичным источником загрязнения сопредельных сред: приземного слоя атмосферы, растительности, природных вод. Накапливаясь в корнеобитаемом слое почвы, ТМ в течение длительного времени сохраняют способность усваиваться корневыми системами растений и включаться в процессы миграции по трофическим цепям, оказывая в конечном итоге негативное влияние на здоровье населения [1]. Согласно [2], с растительной пищей в человеческий организм попадает основное количество ТМ (75–85 %).

По мнению В. Б. Ильина [3], техногенное загрязнение городских земель ТМ особенно велико, а массовое проживание людей в этих условиях делает проблему весьма актуальной. Ситуация усугубляется тем, что на территории городов существует сельское хозяйство, ориентированное на выращивание овощей, плодовых и ягодных культур. Растительная продукция на огородных почвах жилой усадебной застройки (ЖУЗ) г. Бреста выращивается, как правило, для личного потребления, используется в течение многих лет, поэтому вероятность постепенного накопления ТМ в организме местных жителей представляется весьма высокой.

Сведения об особенностях накопления ТМ в почвах ЖУЗ г. Бреста являются весьма ограниченными, что обусловило актуальность, цель и задачи исследований.

Их результаты могут стать основой для прогнозирования состояния городской среды г. Бреста, оценки существующих и потенциальных рисков для населения, оптимизации использования природно-ресурсного потенциала города и прилегающих территорий в целях обеспечения их устойчивого развития.

Методика и объекты исследования

В работе рассматриваются восемь элементов, которые всегда включаются в группу ТМ: цинк (Zn), медь (Cu), марганец (Mn), свинец (Pb), кадмий (Cd), никель (Ni), кобальт (Co), хром (Cr). Часть из них (Zn, Cu, Mn, Co) относятся к числу почвенных микроэлементов.

Учитывая, что большинство техногенных выбросов в городской среде накапливается на поверхности почвенного покрова [4], образцы почв отбирали из пахотного слоя (огородные почвы ЖУЗ) или горизонта А1 (условно целинные почвы) до глубины 10 см в пяти местах (методом конверта) и составляли смешанный образец. В качестве условно фоновых рассматривали дерново-подзолистые песчаные почвы территорий, удаленных на 35–40 км от крупных источников техногенных выбросов загрязняющих веществ.

Экспериментальные исследования почв проводили в условиях аккредитованных лабораторий Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси. Пробы почв анализировали на содержание ТМ методом атомно-абсорбционной спектрометрии на приборе SOLAAR MkII M6 Double Beam AAS с пламенным атомизатором.

При расчетах коэффициента концентрации (Кс), представляющего собой отношение содержания элемента в исследуемом образце к его фоновому содержанию, использовали следующие значения концентрации ТМ в почвах юго-запада Беларуси (субрегиональный фон), мг/кг: Pb – 5,39; Cd – 0,09; Cu – 1,29; Zn – 7,43; Mn – 109,6; Ni – 0,66; Co – 0,45; Cr – 1,85.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований установлено, что в возделываемых огородных почвах г. Бреста, расположенных в зонах повышенного риска загрязнения ТМ (прежде всего – вдоль оживленных автомагистралей), наблюдается большой разброс величин валового содержания большинства изученных элементов. Так, содержание свинца изменяется от 4,90 мг/кг почвы до 52,47 мг/кг, цинка – от 24,00 мг/кг до 360,37 мг/кг, меди – от 4,50 мг/кг до 41,36 мг/кг, марганца – от 58,20 мг/кг до 279,5 мг/кг.

Установлено, что в исследованных почвах наиболее высокие уровни накопления характерны для цинка: в 86,7 % проб зафиксированы уровни содержания элемента выше значений ПДК (55 мг/кг). Показательно, что в 50 % проб уровни ПДК превышены в два и более раза. В отдельных случаях в огородных почвах концентрация элемента превышает 6,5 ПДК, достигая значений 360,0 мг/кг (улица Суворова, 49). Усредненное содержание элемента составляет 126,95 мг/кг. Во всех образцах, отобранных на необрабатываемых почвах городских усадеб, содержание цинка выше ПДК; в отдельных случаях оно достигает 8,2 ПДК, или 453,7 мг/кг (район железнодорожного вокзала, улица Кижеватова, 44/1). Усредненное содержание элемента в условно целинных почвах составляет 135,06 мг/кг. Максимальные концентрации элемента в обрабатываемых почвах выше минимальных значений (24,0 мг/кг) в 15 раз; для необрабатывемых почв эта разница составляет 8,2 раза. В целом для обеих категорий почв Кс для цинка составляет 17–18 единиц (таблица). Содержание цинка в обрабатываемых почвах ЖУЗ в 4,5 раза выше в сравнении с фоновыми значениями для огородных почв; для невозделываемых почв – больше в 4,8 раза. Помимо автотранспортных эмиссий, обогащение огородных почв цинком связано также с многолетним удобрением их золой и примененим компостов, изготовленных из местных компонентов. Учитывая, что цинк является высокопо-

движным биофильным и технофильным элементом широкого диапазона действия на живые организмы, актуальность дальнейшего изучения его поведения в почвах городских ландшафтов не вызывает сомнений.

Таблица. – Содержание ТМ в фоновых почвах и в огородных почвах жилой усадебной застройки г. Бреста

Показатель		мг/кг							
		Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Mn	Co	Cr
Субрегиональный фон		5,39	0,09	1,29	7,40	0,66	109,60	0,45	1,85
Огородные почвы фоновых территорий		7,10	0,13	5,34	28,04	2,80	121,71	1,73	2,46
1*	Среднее содержание	19,70	0,18	16,41	126,95	3,90	146,98	1,88	4,90
	Максимальное содержание	52,47	0,33	41,36	360,37	8,67	279,50	2,66	8,41
	Минимальное содержание	4,90	0,07	4,50	24,00	1,10	58,20	0,67	0,60
	Коэффициент концентрации	3,65	1,97	12,72	17,16	5,91	1,34	4,17	2,65
2	Среднее содержание	55,09 (33,51)**	0,24	12,65	135,06	3,66	141,21	1,82	4,49
	Максимальное содержание	292,46	0,90	36,90	453,67	8,61	227,60	3,50	7,51
	Минимальное содержание	6,07	0,09	7,19	55,66	2,10	83,70	0,92	1,03
	Коэффициент концентрации	10,22 (6,22)	2,69	9,81	18,25	5,54	1,29	4,04	2,43
ПДК		**32**	**0,5**	**33**	**55**	**20**	**1500**	**8**	**100**

*Примечание – * 1 – обрабатывемые огородные почвы, 2 – необрабатываемые почвы ЖУЗ, ** () – без учета случая-артефакта*

Вторым по значимости элементом-загрязнителем как по уровням накопления, особенно в сравнении с фоновыми почвами, так и по своей опасности (1 класс, ПДК – 32,0 мг/кг) является свинец. Так, усредненное содержание элемента в огородных почвах составляет 19,70 мг/кг (0,6 ПДК), в условно целинных – 55,09 мг/кг (1,7 ПДК) или без учета случая артефакта (292,5 мг/кг по ул. Речицкой, 62/1) – 33,51 мг/кг (около 1,0 ПДК), что в 1,7 раза больше, чем в возделываемых аналогах. В четырех образцах возделываемых почв (13,3 %) концентрация свинца превышает ПДК, еще в четырех – составляет 0,8–0,9 ПДК, изменяясь от 24,85 мг/кг до 30,09 мг/кг. При этом вариабельность значений концентрирования элемента в этой категории почв несколько ниже, чем у цинка, и составляет 10,7 раза. В залежных почвах 41,7 % проб оказалось с превышением ПДК. Для первой категории почв Кс составляет 3,65, для второй 10,22 (или 6,22 – при отбраковывании случая-артефакта). В сравнении с огородными почвами фоновых территорий содержание свинца в обрабатываемых почвах ЖУЗ выше в 2,8 раза, в необрабатываемых – в 4,7 раза. Следовательно, свинец гораздо интенсивнее накапливается в поверхностном слое невозделываемых почв ЖУЗ (условно целинных). Это объясняется способностью свинца образовывать прочные связи с органическим веществом вследствие его сродства с гуматными соединениями почвы [5]. В результате элемент прочно закрепляется в почве и быстро теряет подвижность [6]. Этим объясняется очень большой период полуудаления элемента из почв: от 740 до 5 900 лет, по сравнению с более токсичным кадмием (13–110 лет) и медью (310–1 500 лет) [7]. Доказательство устойчи-

вости свинца в почвах явилось причиной пересмотра значений ПДК элемента в сторону повышения во многих западных странах. Так, величины ПДК свинца в городских почвах в Англии достигают 300, Канаде – 500 и 1 000 (в зависимости от функциональных зон), США – 2 000 мг/кг [8]. Более низкое содержание свинца в возделываемых огородных почвах объясняется их регулярным перемешиванием (эффект разбавления), выносом элемента с формируемым урожаем.

Примечательно, что полученные нами результаты хорошо согласуются с литературными данными. Так, согласно [9], аккумуляция ТМ в городских почвах (на примере г. Новосибирска) происходит преимущественно в верхнем 5-см слое почвы. По содержанию в почве среди изученных ТМ также выделяются цинк (его концентрация в 30 % и более изученных проб превышает значения ПДК) и свинец.

В условиях урбоземов г. Бреста медь относится к числу элементов, более интенсивно накапливающихся в огородных почвах по сравнению с невозделываемыми их аналогами – 16,41 мг/кг против 12,65 мг/кг, или на 34,4 % больше. При этом содержание элемента в первой категории почв в 2,5 раза превосходит значения усредненных концентраций элемента в почвах г. Бреста (6,5 мг/кг), во второй – в 2 раза. Отмечены также 4 случая (13,3 %) превышения значений ПДК (33,0 мг/кг); при этом в огородной почве участка по ул. Герцена, 5 зафиксировано максимальное значение – 41,36 мг/кг (1,3 ПДК). Еще в четырех образцах возделываемых огородных почв содержание меди находится на уровне 0,7–0,8 ПДК и расположено в интервале значений 22,38–25,11 мг/кг. В условно целинных почвах максимальное содержание элемента установлено в пределах усадьбы на ул. Кижеватова, 44/1 – 36,9 мг/кг (1,1 ПДК). Субрегиональный фон по данному элементу (1,29 мг/кг) для возделываемых почв превышен в 12,7 раза, для невозделываемых – в 9,8 раза; в сравнении с фоном для огородных почв – в 3,1 и 2,4 раза соответственно. Более высокие уровни содержания меди в возделываемых огородных почвах связаны, на наш взгляд, с применением медьсодержащих препаратов (прежде всего – медного купороса) для защиты выращиваемых культур, включая плодовые.

Кадмий также относится к числу опасных загрязнителей почв, входя в так называемую «большую четверку» наиболее токсичных ТМ (наряду со свинцом, ртутью и мышьяком) [10]. Содержание кадмия в огородных почвах изменяется от 0,08 мг/кг до 0,33 мг/кг и в среднем составляет 0,18 мг/кг почвы. Для условно целинных аналогов эти значения несколько выше и варьируют от 0,09 до 0,90 мг/кг, а усредненные значения достигают 0,24 мг/кг, т. е. близки к 0,5 ПДК (0,5 мг/кг). Содержание элемента в огородных почвах ЖУЗ в 1,6–2,2 раза превышает уровни, установленные для урбоземов г. Бреста (0,11 мг/кг) и в 1,4–1,9 раза – фоновые значения для огородных почв (0,13 мг/кг). Кроме того, на участке по ул. Кижеватова, 44/1 в условно целинной почве зафиксировано содержание кадмия 0,9 мг/кг (1,8 ПДК). Для рассматриваемого элемента Кс составляет 2,0 для возделываемых почв и 2,7 – для их невозделываемых аналогов.

Марганец принадлежит к числу эссенциальных элементов, участие которых в процессах жизнедеятельности живых организмов абсолютно необходимо. Его накопление в почвах носит преимущественно биогенный характер. В городских почвах Бреста содержание элемента заметно ниже регионального (для Беларуси – 200 мг/кг) и несколько выше субрегионального (для юго-запада Беларуси – 109,6 мг/кг) фона для дерново-подзолистых песчаных почв и составляет 146,98 мг/кг для почв возделываемых огородов и 141,21 мг/кг для условно целинных почв. При этом в обоих случаях содержание марганца несколько (на 16,0–20,8 %) превышает уровень, установленный для фоновых огородных почв (121,71 мг/кг).

Результаты проведенных исследований огородных почв ЖУЗ г. Бреста подтвердили вывод, сделанный нами ранее в отношении почв агроландшафтов [11]: в пахотных почвах сельхозпредприятий юго-запада Беларуси, как и в возделываемых огородных

почвах г. Бреста содержание приоритетных элементов-загрязнителей несколько ниже в сравнении с природными аналогами и невозделываемыми почвами ЖУЗ. В условиях преимущественно атмотехногенного загрязнения окружающей среды ТМ аккумулируются прежде всего в верхнем 0–10-сантиметровом слое почвы. В случае ненарушенных почв это ведет к заметному их обогащению ТМ, особенно подвижными формами свинца и цинка. Для пахотных почв подобное накопление элементов нехарактерно вследствие перемешивания почв при вспашке и искусственного разбавления, частичного выноса ТМ с урожаем, а также дефляции, поверхностного смыва и выщелачивания.

Уровни накопления в почвах жилой усадебной застройки остальных исследуемых элементов, большинство из которых относится к числу эссенциальных, не вызывают опасения: их концентрации составляют доли ПДК, и лишь у никеля в восьми пробах возделываемых почв (26,7 %) они приближаются к 0,4 ПДК, достигая максимальных значений на участках по ул. Кижеватова, 44/1 – 7,22 мг/кг и по ул. Октябрьская, 10 – 8,69 мг/кг; при этом Кс у данного элемента составляет 5,5–5,9.

Особенно низким для рассматриваемых почв является содержание Co: для обрабатываемых почв оно в среднем составляет 1,88 мг/кг, для необрабатываемых – 1,82 мг/кг почвы. Эти значения сопоставимы с уровнем содержания элемента в фоновых огородных почвах – 1,73 мг/кг. И хотя средневзвешенное содержание Co для всех категорий изученных огородных почв в 3,8–4,2 раза выше в сравнении с субрегиональным фоном (0,45 мг/кг), обеспеченность возделываемых почв данным элементом является недостаточной (оптимальное содержание Co в почвах должно находиться в диапазоне 2,5–7,0 мг/кг, экстрагент 1М HC). Полученные нами результаты хорошо согласуются с данными украинских исследователей, где для условий северной части Волынской области 98 % проб аналогичных почв оказались с недостатком данного элемента [12]. Вместе с тем Co принадлежит к числу особо биологически важных элементов, влияющих на обмен веществ и кроветворение при синтезе гемоглобина в составе витамина B12. В свою очередь, витамин B12 повышает общую устойчивость человеческого организма к онкологическим заболеваниям.

В целом почвы ЖУЗ г. Бреста имеют следующую геохимическую специализацию (установлена исходя из величин Кс):

1) *возделываемые огородные почвы*: Zn (17,2) > Cu (12,7) > Ni (5,9) > Co (4,2) > Pb (3,7) > Cr (2,6) > Cd (2,0) > Mn (1,3);

2) *условно целинные почвы*: Zn (18,3) > Cu (9,8) > Pb (6,2) > Ni (5,5) > Co (4,0) > Cd (2,7) > Cr (2,4) > Mn (1,3).

Таким образом, концентрации валовых форм всех изучаемых ТМ в огородных почвах ЖУЗ г. Бреста превышают субрегиональные фоновые значения, установленные для юго-запада Беларуси. Наиболее контрастные геохимические аномалии свойственны цинку, меди и никелю. Невозделываемые (условно целинные почвы) отличаются еще более выраженными аномалиями цинка и свинца, при этом последний элемент в данном ранжированном ряду переместился с пятого на третье место.

Заключение

По результатам проведенных исследований дана оценка геохимического состояния огородных почв в зоне ЖУЗ г. Бреста. Установлено, что приоритетными элементами-загрязнителями данных почв являются Zn (содержание в большинстве образцов превышает ПДК, достигая в отдельных случаях 6,5–8,2 ПДК), Pb (превышение ПДК в 13,3 % случаев), а также Cu и Cd (превышение ПДК в отдельных случаях).

Субрегиональный фон содержания перечисленных элементов в огородных почвах повышен в 2,0 раза у Cd и в 17 раз у Zn. При этом содержание большинства иссле-

дуемых элементов выше в невозделываемых (условно целинных) почвах усадеб по сравнению с их возделываемыми аналогами.

Данные об уровнях накопления ТМ в огородных почвах ЖУЗ г. Бреста могут быть использованы для осуществления сравнительных оценок в отношении других городов Республики Беларусь, определения экологических рисков, связанных с загрязнением почв ТМ, а также для совершенствования системы нормирования содержания элементов-загрязнителей в объектах окружающей среды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколик, Г. А. Влияние влажности почвы на содержание кадмия, свинца и урана в подвижных формах / Г. А. Соколик [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2018. – Т. 54, № 3. – С. 338–348.

2. Vetter, H. Immissionstoffbelastung in der Nachbarschaft einer Blei- und Zinkhutte // H. Vetter, R. Mahlhop, K. Fruchtenicht // Berichte under Landwirtschaft. – 1974. – Bd. 52, H. 2. – S. 327–350.

3. Ильин, В. Б. Мониторинг тяжелых металлов применительно к крупным промышленным городам / В. Б. Ильин // Агрохимия. – 1997. – № 4. – С. 81–86.

4. Шумилова, Л. П. Оценка техногенного загрязнения почв Благовещенска / Л. П. Шумилова // География и природ. ресурсы. – 2016. – № 2. – С. 36–45.

5. Водяницкий, Ю. Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами / Ю. Н. Водяницкий, Д. В. Ладонин, А. Т. Савичев. – М. : Тип. Россельхозакадемии, 2012. – 304 с.

6. Баздырев, Г. И. Тяжелые металлы в системе почва – растение на склоновых землях / Г. И. Баздырев, Н. Б. Пронина, Д. Р. Родригес // Изв. ТСХА. – 2001. – № 2. – С. 81–104.

7. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 440 с.

8. Башкин, В. Н. Методологические основы оценки критических нагрузок поллютантов на городские экосистемы // В. Н. Башкин, А. С. Курбатова, Д. С. Савин. – М. : НИиПИЭГ, 2004. – 64 с.

9. Байдина, Н. Л. Загрязнение городских почв и огородных культур тяжелыми металлами / Н. Л. Байдина // Агрохимия. – 1995. – № 12. – С. 99–104.

10. Тиво, П. Ф. Тяжелые металлы и экология / П. Ф. Тиво, И. Г. Быцко. – Минск : Юнипол, 1996. – 191 с.

11. Михальчук, Н. В. Уровни содержания тяжелых металлов в фоновых и агротехногенных почвах юго-запада Беларуси / Н. В. Михальчук, М. М. Дашкевич, О. А. Галуц // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф., г. Минск, 14–17 сент. 2016 г. : в 2 т. – Минск : Беларус. навука, 2016. – Т. 1. – С. 268–271.

12. Вступ до медичної геології : у 2 т. / за ред. Г. І. Рудька, О. М. Адаменка. – Київ : Академпрес, 2010. – Т. 2. – 448 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 19.03.2020

УДК 911.52

Ю. М. Обуховский
д-р геогр. наук, доц., проф. каф. геодезии и космоаэрокартографии
Белорусского государственного университета
e-mail: yu.obuhovsky@yandex.ru

ИНДИКАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЛАНДШАФТОВ БРЕСТСКОГО ПОЛЕСЬЯ

На основе космоландшафтной карты Брестского административного района, фондовых и литературных источников, материалов полевых исследований разработана индикационная схема Брестского Полесья. Охарактеризованы условия и возможности индикации почв, литологического состава покровных отложений и уровней грунтовых вод в природно-территориальных комплексов лесов, лугов и болот. Показаны региональные особенности лито- и гидроиндикации, обусловленные явлением компенсации экологических факторов, фациальными условиями седиментации покровных отложений. Зрелые стадии современных экзогенных процессов, видимые на космических снимках высокого разрешения, на карте М 1 : 200 000 могут быть показаны в ареалах, контролируемых границами эктоярусов. Индикационные исследования сельскохозяйственно освоенных земель неактуальны. При их изучении с помощью дистанционного зондирования предпочтительны контрастно-аналоговые методы. Области практического применения полученных результатов – ревизионное тематическое картографирование, образование.

OBUKHOVSKY Yu. M.
INDICATIVE ANALYSIS OF LANDSCAPES OF THE BREST POLESIE

An indication scheme of the Brest Polesie has been developed. The possibilities of indication of soils, lithological composition of cover deposits and groundwater levels are described. The regional features of litho- and hydroindications, conditioned by compensation of ecological factors and facial conditions of sedimentation of rocks are shown. Areas of application of the obtained results are revision thematic mapping, education.

Введение

Индикационное ландшафтоведение – научное направление, сформировавшееся на стыке географии, биологии и геологии. Значительный вклад в его развитие внесли работы С. В. Викторова [1; 2], обосновавшего основные положения и принципы индикации. В Беларуси первая публикация в этом направлении относится к началу 70-х годов прошлого века [3]. Далее были подготовлены несколько диссертационных исследований и монографий, что позволило составить индикационные схемы покровных отложений, почв и грунтовых вод для физико-географических провинций Беларуси [4–6]. Из них наименее обеспеченным фактическим материалом оказалось Брестское Полесье. Ситуация изменилась в связи с составлением космоландшафтной карты Брестского района [7], хотя индикационные аспекты в данной работе не рассматривались.

Целью данного исследования является индикационный анализ ландшафтов провинции на примере Брестского района. В число решаемых задач входят:

1) индикация генезиса почв и литологического состава покровных отложений;
2) индикация грунтовых вод;
3) индикация экзогенных процессов.

Материалы и методика исследований

Используемые материалы включали в себя данные дистанционного зондирования, результаты предшествующих тематических съемок, фактический материал полевых исследований, литературные и фондовые источники.

Методика составления космоландшафтных карт административных районов подробно изложена в работах [7–9]. При ландшафтной интерпретации космических снимков (КС) используется аналитический подход, поскольку они являются многослойными

оптическими моделями, которые можно использовать на разных уровнях. Специфика дистанционных исследований обусловливает следующее:

1) таксоны всех рангов определяются только по физиономичным признакам (рельеф, растительность, гидросеть, антропогенные объекты, оптические свойства открытых почв); эти совокупности являются эктоярусами картируемых таксонов;

2) ведущим признаком при определении сложных урочищ является положение в рельефе;

3) в понятие «простое урочище» вкладывается конкретное, оптимальное для индикации геоботаническое содержание, позволяющее дифференцировать объект индикации по определенным свойствам.

Последовательность и содержание космоландшафтного картографирования предусматривает:

1) составление предварительной карты на основе имеющихся тематических материалов; при этом определяется генетическая канва – границы ландшафтов, анализируется рельеф – локализация местностей и сложных урочищ, распределение видов земель и естественной растительности – дифференциация простых урочищ или их групп;

2) получение синтезированных космических изображений с улучшенными геометрическими характеристиками и оптимальным подбором спектральных каналов;

3) сопоставление предварительной карты с космофотоосновой того же масштаба – соответствие границ, уточнение их конфигурации, учет изменений во времени, структуры видов земель и их площадей, установление дешифровочных признаков, подвод дешифровочных эталонов.

Результаты работ и их обсуждение

В результате была составлена космоландшафтная карта Брестского района (рисунок 1). Территориально он относится к Брестскому Полесью, а северо-западная часть – к Высоковской равнине Предполесья. Всего выделяются пять видов ландшафтов, урбанизированные и аквальные комплексы, а также группы урочищ эоловых всхолмлений и озерных равнин (подобно тому как на геолого-литологических и геоморфологических картах такие образования дифференцированы от окружающих равнин и отличаются цветом). Интерпретация ландшафтной карты в индикационную осуществляется путем сопоставления выделенных эктоярусов с индикатами: почвенными, геолого-литологическими и гидрогеологическими условиями. Для этого, кроме картографических данных, привлекается фактический материал: описания обнажений, шурфов, скважин ручного и механического бурения, оптические свойства подстилающей поверхности.

Легенда индикационной карты составлена в форме таблиц (таблицы 1–3). Эктоярусы урочищ индикаторов сгруппированы по положению в рельефе, растительности и характеру антропогенного воздействия. В рельефе выделяются: всхолмления, или повышенные участки рельефа, верхние, средние и нижние склоны, низины и котловины. В составе естественной растительности им соответствуют ступени гигротопов в эдафической сетке П. С. Погребняка [9]: соответственно, сухие, свежие, влажные, сырые и мокрые обитания с определенным интервалом уровней грунтовых вод (УГВ). На сельскохозяйственно-освоенных участках гигротопы маркируются генезисом почв.

По растительности выделяются эктоярусы лесной, луговой и болотной растительности. В лесах различаются урочища с участием серий типов леса, на лугах и болотах – с одной или несколькими группами ассоциаций. По антропогенному воздействию различаются агроландшафты: распаханные, мелиорированные распаханные.

В индикационные таблицы не вводились графы «Признаки дешифрирования», зависящие от видов КС, и «Достоверность», так как все перечисленные эктоярусы имеют точность не менее 75 %.

Таблица 1. – Ландшафтно-индикационная таблица лесных ПТК

№ п/п	Эктоярусы	Индицируемые условия			
		Почвы	Литологический состав покровных отложений	УГВ, м	Экзогенные процессы
1	Эоловые взбугрения и повышенные участки водно-ледниковых равнин с сосняками лишайниково-кустарничковыми	Дерново-подзолистые	Пески разнозернистые, преимущественно мелкозернистые (f_sIIdn, sz, v III–IV)	> 3, на песках сожского возраста > 5	Дефляция, водная эрозия
2	Верхние склоны моренных и водно-ледниковых равнин с сосняками кустарничково-зеленомошными	То же	Пески тонко- и мелкозернистые (gIIdn, f_sII dn, sz, редко a1 t III pz)	2–5	Биологическая эрозия
3	Верхние склоны водно-ледниковых равнин с дубравами орляково-кислично-снытевыми	То же	Супеси, реже – суглинки (F_sIIdn)	2–4	То же
4	То же, с широколиственно-сосновыми орляково-зеленомошно-кисличными лесами	То же	Супеси, пески пылеватые	> 3	То же
5	Средние и нижние склоны водно-ледниковых равнин с сосняками зеленомошно-черничными и кустарничково-долгомошными	Дерново-подзолистые оглееные снизу, торфянисто-глеевые	Пески, слабооторфованные пески (F_sII dn, редко l, a III pz)	0,5–2	Биологическая эрозия, начальные стадии заболачивания
6	Слабо повышенные участки озерно-аллюыиальных равнин с березняками зеленомошно-черничными	То же	Пески мелко- и тонкозернистые, в том числе оторфованные (l, a III pz)	0,5–2	То же
7	Низины с дубравами папоротниково-крапивными	Торфяно-глеевые, торфяные маломощные	Преимущественно мелкозернистые оторфованные пески, торф (a 1t III pz, a IV < h IV)	0,5–1	Заболачивание
8	Озерные террасы с широколиственно-черноольховыми краписными лесами в сочетании с кислично-снытевыми и папоротниковыми	Дерново-подзолистые оглеенные, торфянисто- и торфяно-глеевые	Суглинки и супеси, в том числе оторфованные (l IV, h IV)	0,5–1	То же

Таблица 2. – Ландшафтно-индикационная таблица ПТК лугов и закустаренных болот

№ п/п	Эктоярусы	Индицируемые условия			
		Почвы	Литологический состав покровных отложений	УГВ, м	Экзогенные процессы
1	Низинные болота с сосново-березово-осоковыми лесами и ивовым ярусом	Торфяно-болотные низинные	Торф, подстилаемый водно-ледниковыми песками (f_s II dn)	0–0,5	Заболачивание
2	Низинные болота с березово-черноольховыми травяно-осоковыми лесами в сочетании с болотно-папоротниковыми	Торфяно-болотные мало- и средне-мощные	Торф, подстилаемый водно-ледниковыми, озерными и аллювиальными отложениями (f II dn, l IV, a IV)	0–0,5	То же
3	Низинные болота с черноольшаниками таволговыми и приручейно-травяными	Торфяно-болотные, реже – дерново-аллювиальные заболоченные	Торф, подстилаемый водно-ледниковыми отложениями (f_sII dn), оторфованные пески (a IV)	0–1	Заболачивание, водная эрозия
4	Низины с болотами разнотравно-злаково- и гипново-осоковыми	Торфяно-болотные низинные	Торф низинный, фрагментарно переходный (h IV), подстилаемый водно-ледниковыми и аллювиальными отложениями	0–0,5	Заболачивание
5	Низины со злаковыми лугами с участками травяных болот	Дерново-глеевые, торфяно-глеевые	Водно-ледниковые пески (f_s II dn), местами оторфованные	0,5-1	Заболачивание
6	Низины со злаково-мелкоосоковыми лугами	Торфяно-глеевые	То же	0,5–1	То же
7	Низины с мелкоосоковыми лугами		Аллювиальные пески, местами оторфованные (a IV)	0,5–1	Водная эрозия, начальные стадии заболачивания

Таблица 3. – Структура и строение агроландшафтов

№ п/п	Положение в рельефе и вид освоения	Почвы	Литологический состав и генезис покровных отложений	УГВ, м	Экзогенные процессы
1	Возвышения моренных и водно-ледниковых равнин, распаханные	Дерново-подзолистые	Супеси (g II dn, f_3 II dn, sz)	> 3	Водная эрозия, плоскостной смыв
2	Повышенные участки водно-ледниковых равнин и надпойменных террас, распаханные	То же	Пески (f_3II dn, a l t III pz)	> 2	Водная эрозия, дефляция, крин
3	Понижения водно-ледниковых и озерно-иллювиальных равнин, распаханные	Дерново-подзолистые заболоченные слабо глееватые	Суглинки (f_s II dn; l, a III pz, редко l IV)	1–2	Водная эрозия
4	Понижения надпойменных и озерных террас, мелиорированные и распаханные	Дерново-заболоченные глееватые и глеевые	Суглинки (a l t III pz, l IV)	> 1	То же
5	Понижения водно-ледниковых и озерно-аллювиальных равнин, надпойменных террас, мелиорированные и распаханные	То же	Супеси, пески (f_3 II sz; l, a III pz, a l t III pz)	> 1	То же, редко суффозия
6	Низины и котловины моренных и водно-ледниковых равнин, мелиорированные и распаханные	Торфяно-глеевые и торфяно-болотные	Торф, подстилаемый песками и супесями (h IV, g II dn, f_s II sz)	> 1	Деградация торфяной залежи
7	Поймы, мелиорированные и распаханные	Дерново-аллювиальные заболоченные в сочетании с торфяно-болотными	Торф, подстилаемый аллювиальными песками (h, a IV)	около 1 м	То же
8	Понижения водно-ледниковых равнин, распаханные	Дерново-подзолистые временно-избыточно-увлажняемые	Супеси (f II dn, sz)	1–2	Водная эрозия

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

В урочищах естественной растительности достоверно индицируется генезис почв: выделяются дерново-подзолистые, дерново-подзолистые заболоченные, дерново-глеевые, торфяно-глеевые, торфяно-болотные (органогенные), дерново-аллювиальные почвы.

В генетическом отношении выделяются моренные, водно-ледниковые, озерно-аллювиальные, аллювиальные отложения различного возраста, озерные образования. Затруднительна дифференциация по КС водно-ледниковых отложений днепровского и сожского возраста, их локализация коррелирует с границами зон оледенения.

В литологическом составе различаются пески, супеси, суглинки, оторфованные отложения, торф. Трудную задачу представляет собой дифференциация песков по зернистости, так как растительность реагирует преимущественно на гумусность и содержание пылеватой и глинистой фракции в почвогрунтах.

Мощность отложений достоверно устанавливается только для песков. Литоиндикация точнее в комплексах водоразделов и склонов, чем в понижениях, где сказывается влияние грунтовых вод. Так, на бедных аллювиальных песках с проточным режимом формируется растительность низинных болот, а в замкнутых котловинах моренных равнин с карбонатными супесями – ассоциации переходного типа.

Вследствие компенсации экологических факторов (более благоприятный тепловой режим) эктоярусам Брестского Полесья соответствует более бедный, чем в аналогах Северной и Средней Беларуси, субстрат. Так, дубравы кислично-снытевые здесь развиты преимущественно на супесях, а не на суглинках, а широколиственно-сосновые кисличные леса – на супесях и пылеватых песках. Однако установлено, что бонитет полесских дубрав ниже, чем у аналогов Поозерья.

Индикаторы УГВ возможны в градации 0–0,5; 0,5–1; 1–3; 3–5; более 5 м. Южнее полосы развития днепровских моренных и сожских водно-ледниковых отложений в ряде лесных комплексов наблюдаются аномальные УГВ. При глубине 3 м формируются сосняки с наземным покровом из лишайников. По наблюдениям автора, разница гипсометрических уровней влажного сосняка черничного и лишайникового составила 0,6 м. По другим данным [10], в Полесье при изменении относительных высот на 0,5 м происходит переход от осокового болота к бору. Это объясняется малой влагоемкостью и высокой инфильтрационностью песков юга Беларуси.

Развитие экзогенных процессов обусловлено рядом природных и антропогенных факторов: неотектоникой, рельефом, литологическим составом покровных отложений, УГВ, задернованностью почв, видом и интенсивностью антропогенного воздействия. На КС высокого уровня разрешения фиксируются зрелые стадии процессов. В масштабе представленной карты они могут быть показаны только в ареалах. Начальные стадии процессов могут индицироваться путем разграничения зон морфогенеза, как это было установлено на примере мелиоративных ландшафтов [11]. Исследованы пространственно-временные аспекты рельефообразующих процессов на болотах [12].

Индикация почвогрунтов на землях, вовлеченных в севооборот, в Беларуси не является актуальной, поскольку для них уже составлены и обновляются почвенные карты, в том числе крупного масштаба. Таблица 3 лишь констатирует внутриландшафтные связи в трансформированных ПТК. Для дистанционного изучения сельскохозяйственно освоенных территорий предпочтителен не индикационный, а контрастно-аналоговый метод дешифрирования [13; 14] в сочетании со спектрометрией и геостатистическим моделированием [15; 16].

Заключение

В результате выполненных исследований космоландшафтная карта, составленная для оценки экологического состояния ПТК Брестского района, интерпретирована

в ландшафтно-индикационную. Впервые разработана индикационная схема почвогрунтов и грунтовых вод, которая может быть экстраполирована на всю территорию Брестского Полесья и смежных районов Предполесья. Отмечены региональные особенности лито- и гидроиндикаций, связанных с компенсацией экологических факторов в ПТК лесов и с фациальными условиями седиментации покровных отложений.

Полученные результаты могут быть использованы для ревизионных исследований и обновления тематических карт. Опыт проведенных исследований показывает, что применение индикационных методов при повторной геологической съемке залесенных и заболоченных территорий уменьшает трудозатраты на 30–50 % при одновременном повышении качества работ.

Результаты исследования используются на факультете географии и информатики БГУ при преподавании курсов «Индикационное картографирование», «Методы ландшафтной индикации», «Космическое картографирование». Космоландшафтная карта может быть использована и в культурно-просветительской деятельности (аналогичные материалы задействованы в учебных заведениях Гродненского района и являются экспонатом историко-археологического музея).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викторов, С. В. Использование индикационных географических исследований в инженерной геологии / С. В. Викторов. – М., 1966. – 172 с.

2. Основы теории и методики ландшафтной индикации гидрогеологических и инженерно-геологических условий в районах осушительной мелиорации / С. В. Викторов [и др.]. – Минск, 1979. – 192 с.

3. Абухоўскі, Ю. М. Індыкацыйнае значэнне і дэшыфровачныя прыкметы раслінасці паўднёва-ўсходняга схілу Мінскага ўзвышша / Ю. М. Абухоўскі, А. Ц. Лагойка // Антрапаген Беларусі. – Мінск, 1971. – С. 58–62.

4. Обуховский, Ю. М. Ландшафтная индикация четвертичных отложений и почв Припятского Полесья / Ю. М. Обуховский. – Минск, 1990. – 192 с.

5. Обуховский, Ю. М. Аэрокосмические исследования ландшафтов Беларуси / Ю. М. Обуховский, В. Н. Губин, Г. И. Марцинкевич. – Минск, 1994. – 175 с.

6. Обуховский, Ю. М. Дистанционная индикация лесо-болотных ландшафтов Беларуси : автореф. дис. … д-ра геогр. наук / Ю. М. Обуховский. – Минск, 1997. – 34 с.

7. Обуховский, Ю. М. Космоландшафтное картографирование и оценка экологического состояния природно-территориальных комплексов Брестского района / Ю. М. Обуховский, И. П. Самсоненко, Т. А. Жидкова // Земля Беларуси. – 2013. – № 4. – С. 35–41.

8. Обуховский, Ю. М. Космоландшафтные карты урбанизированных районов как информационная база оптимизации природного пользования / Ю. М. Обуховский, Т. А. Жидкова, Л. В. Головач // Природ. ресурсы. – 2012. – № 2. – С. 106–111.

9. Погребняк, П. С. Основы лесной типологии / П. С. Погребняк. – 2-е изд., испр. и доп. – Киев, 1955. – 456 с.

10. Юркевич, И. Д. Растительность Белоруссии, ее картографирование, охрана и использование / И. Д. Юркевич, Д. С. Голод, В. С. Адерихо. – Минск. – 1979. – 248 с.

11. Тановицкий, И. Г. Антропогенные изменения торфяно-болотных комплексов / И. Г. Тановицкий, Ю. М. Обуховский. – Минск, 1988. – 165 с.

12. Аношко, В. С. Пространственно-временные аспекты морфогенеза в районе осушительной мелиорации / В. С. Аношко, Ю. М. Обуховский // Современные геологические процессы. – Минск, 1998. – С. 9–11.

13. Романова, Т. А. Дистанционные методы зондирования земной поверхности и структура почвенного покрова / Т. А. Романова // Дистанционное зондирование природной среды: теория, практика, образование. – Минск, 2006. – С. 157–159.

14. Курьянович, М. Ф. Использование спутниковой информации для почвенного районирования / М. Ф. Курьянович, Ф. Е. Шалькевич // Геоматика: образование, теория, практика : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию кафедры геодезии и космоаэрокартографии и 85-летию факультета географии и геоинформатики БГУ, Минск, 20–22 нояб. 2019 г. – Минск, 2019. – С. 107–110.

15. Давидович, Ю. С. Изменение спектральной отражательной способности сельскохозяйственных культур в зависимости от степени увлажнения почв / Ю. С. Давидович, Г. С. Литвинович, Ф. Е. Шалькевич // Геоматика: образование, теория, практика : материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию кафедры геодезии и космоаэрокартографии и 85-летию факультета географии и геоинформатики БГУ, Минск, 20–22 нояб. 2019 г. – Минск, 2019. – С. 111–114.

16. Козодеров, В. В. Аэрокосмическое зондирование почвенно-растительного покрова: модели, алгоритмическое и программное обеспечение, наземная индикация / В. В. Козодеров, Е. В. Дмитриев // Исслед. Земли из космоса. – 2010. – № 1. – С. 69–86.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 04.03.2020

УДК 551.584.43:582.542(476.5)

Г. И. Пиловец[1], М. А. Дубовский[2]
[1]доц. каф. географии
Витебского государственного университета имени П. М. Машерова
[2]инженер-агометеоролог филиала «Витебскоблгидромет»
e-mail: [1]pilovets_galina@mail.ru

АГРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ КУКУРУЗЫ НА ЗЕРНО НА ТЕРРИТОРИИ ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Статья посвящена рассмотрению агроклиматических условий территории для развития сельского хозяйства. Представлены результаты оценки агрометеорологических условий территории Витебской области для выращивания кукурузы на зерно в условиях современного изменения климата. Исследование показало, насколько вероятно достижение фаз восковой и полной зрелости зерна кукурузы на раннеспелых и среднеранних гибридах в северном регионе Беларуси в условиях потепления климата.

PILOVETS G. I., DUBOVSKY M. A.

AGROMETEOROLOGICAL CONDITIONS FOR THE CULTIVATION OF CORN FOR GRAIN IN ON THE TERRITORY OF VITEBSK REGION IN CLIMATE WARMING

The article is devoted to the consideration of agro-climatic conditions of the territory for the development of agriculture. The results of the assessment of the agrometeorological conditions of the territory of the Vitebsk region for growing corn for grain in the current climate change are presented. The study showed how likely it is to achieve phases of waxy and full maturity of corn grain on early ripening and mid-early hybrids in the northern region of Belarus under conditions of climate warming.

Введение

Специфика развития большинства отраслей хозяйства, в том числе и сельского хозяйства – это тесная зависимость от климата. Правильный учет агрометеорологических факторов, и всестороннее использование агроклиматических ресурсов необходимы для принятия оптимальных решений в сельскохозяйственном производстве.

В последние десятилетия, начиная с 1989 г., на территории Республики Беларусь наблюдается потепление климата. Среднегодовая температура воздуха превысила климатическую норму на 1,3 ºС. Потепление климата привело к смещению границ агроклиматических областей к северу так, что практически вся территория Витебской области стала относиться к центральной зоне. Увеличилась продолжительность вегетационного периода. В связи с этим повысилась благоприятность агрометеорологических условий для выращивания более теплолюбивых сельскохозяйственных культур. Данный фактор в целом носит положительный характер, так как с потеплением климата появилась возможность провести адаптацию аграрного сектора к новым агроклиматическим условиям, пересмотреть структуру выращивания сельскохозяйственных культур, в частности, выявить районы, пригодные для возделывания кукурузы. Если раньше агроклиматические условия Витебской области были благоприятными для выращивания кукурузы только на силос и зеленый корм, то на сегодняшний день при условии оптимальных сроков сева и правильного подбора гибридов в ряде административных районов возможно получать полноценное зерно.

В этой связи целью исследования стала оценка агрометеорологических условий территории Витебской области для возделывания кукурузы на зерно в период потепления климата. Основная задача – выявить, насколько вероятно достижение фаз восковой и полной спелости зерна кукурузы скороспелыми гибридами в северном регионе Беларуси в условиях потепления климата.

Материал и методы

Исследование выполнено на основе материалов агрометеорологических наблюдений метеостанций Витебской области Филиала «Витебскоблгидромет» за период 1997–2016 гг. Важными критериями оценки пригодности территории для выращивания кукурузы являются среднесуточные температуры за период с мая по сентябрь или сумма эффективных температур.

Сумма эффективных температур – это показатель, который характеризует количество тепла и выражается суммой средних суточных температур воздуха или почвы, превышающий определенный порог: 0, +5, +10 ºС или биологический минимум температуры, необходимой для развития определенного растения. Для каждого вида растения количество эффективных температур, необходимых для прохождения определенной фазы или всей генерации растения, специфично. Наиболее полно потребность кукурузы в тепле характеризуют суммы эффективных температур воздуха выше +10 ºС.

За период с мая по сентябрь сумма эффективных температур ($T_{эф.т.}$) выше +10 ºС (при ее устойчивых значениях) определяется по формуле:

$$T_{эф.т..} = 0{,}5 \times (T_{макс.} + T_{мин.}) - 10, \quad (1)$$

где $T_{макс.}$ и $T_{мин.}$ – максимальная и минимальная суточные температуры воздуха.

Данный расчет не совсем точен, т. к. среднесуточная температура вычисляется путем сложения максимальной и минимальной температуры воздуха за сутки с умножением на 0,5, т. е. по сравнению с метеорологическими данными (за 8 сроков наблюдений) в ряде случаев погрешность составляет 1–3 ºС.

В нашем исследовании за период с мая по сентябрь сумма эффективных температур выше +10 ºС ($T_{эф. т.}$) (при ее устойчивых значениях) определялась по формулам:

$$T_{эф. т.} = (T_{ср. декадная} \times 10) - 100 \text{ – для 10-дневной декады,} \quad (2)$$

$$T_{эф. т.} = (T_{ср. декадная} \times 11) - 110 \text{ – для 11-дневной декады,} \quad (3)$$

где $T_{ср. декадная}$ – средняя декадная температура. Значения 10 или 11 берутся в зависимости от количества дней в данной декаде месяца.

Показатель суммы эффективных температур рассчитывается как сумма среднесуточных температур воздуха за те дни, когда эта температура превышает установленный порог. В нашем исследовании порогом считалась температура +10 ºС, т. к. начиная с этой температуры кукуруза начинает рост и развитие. При этом среднесуточные температуры исчисляются как среднее арифметическое измерение наружного термометра за сроки наблюдений: 00 ч, 03 ч, 06 ч, 09 ч, 12 ч, 15 ч, 18 ч, 21 ч ВСВ.

По ежедневным наблюдениям за неполные декады (в начале и конце вегетационного периода) для суммы эффективных температур выше +10 ºС подсчет начинался со значения среднесуточной температуры воздуха +10,1 ºС, тогда 10,1 º – 10 º = 0,1 º. Среднесуточная температура ниже +10 ºС в сумму эффективных температур не включалась, так как процессы роста и развития кукурузы при такой температуре практически останавливаются.

В ходе исследования, используя данную методику, рассчитаны суммы эффективных температур выше +10 ºС за период вегетации кукурузы и построены карты вероятности достижения восковой и полной спелости зерна. Учитывая классификацию гибридов кукурузы по группам спелости, для исследования выбраны раннеспелые и среднеранние гибриды как наиболее подходящие для возделывания на территории Витебской области.

Результаты и их обсуждение

Кукуруза – самая урожайная в мире зерновая культура, она обеспечивает 30 % валовых сборов зерна. Родиной кукурузы является Центральная и Южная Америка [1]. Это теплолюбивое и светолюбивое растение. Необходимая температура для роста и развития кукурузы – от +12 до +25 ºС [2]. Дневная температура от +22 до +25 ºС и ночная температура +18 ºС являются оптимальными [2]. Прирост вегетативной массы кукурузы начинается при температуре воздуха выше +10 – +12 ºС [2]. Осенью процессы накопления сухого вещества заканчиваются при температурах ниже +12 ºС [2].

С суммой эффективных температур воздуха выше +10 ºС, которые наиболее полно удовлетворяют потребность кукурузы в тепле, тесно связана скороспелость гибридов кукурузы. При этом учитываются только дни со среднесуточной температурой выше +10 °С за этот период или до достижения определенной фазы спелости [2]. Чем более раннеспелый гибрид, тем меньше необходимая для него сумма тепла [2].

Возделывание кукурузы на силос оправдано в районах Беларуси, где сумма эффективных температур превышает 700 ºС. Минимум эффективных температур при возделывании кукурузы на зерно составляет 800 ºС [3]. По результатам исследований Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию, от сева до полной спелости раннеспелым гибридам требуется в среднем 820–870 ºС, среднеранним – 870–920 ºС [4]. В холодный год требуется меньшая сумма эффективных температур, в теплый – бóльшая [4]. В нашем исследовании рассчитывались средние значения из интервала требуемых эффективных температур: для раннеспелых – 845 ºС, для среднеранних – 895 ºС.

Гибриды кукурузы различают по группам спелости, и для их сравнения служит число ФАО. Весь мировой ассортимент кукурузы распределен по ФАО-числам (далее – ФАО) в диапазоне от 100 до 999. Минимально необходимая сумма эффективных температур для получения зерна полной спелости составляет около 800 ºС (для раннеспелых гибридов) (таблица 1).

Таблица 1. – Тепловой режим гибридов кукурузы различных групп спелости

Группа спелости (ФАО)	Сумма эффективных температур от сева до спелости зерна, °С		
	Полной	Восковой	Молочно-восковой
Раннеспелые 131–180	820–870	770–820	720–770
Среднеранние 181–230	870–920	820–870	770–820
Среднеспелые 231–280	920–970	870–920	820–870
Среднепоздние 281–330	1080–1130	970–1020	880–930

Высокую потребность кукурузы в тепле надо учитывать при определении сроков посева и уборки. Из отличительных признаков кукурузы как растения с циклом С-4 по отношению к теплу и влаге следует, что колебания урожайности кукурузы по годам в северных регионах выращивания больше зависят от суммы температур, чем от влаги [2]. В ходе исследования рассчитаны накопленные температуры каждой из декад месяца с мая по сентябрь по всем 10 метеостанциям Витебской области за период с 1997 по 2016 г. включительно (таблицы 2, 3).

В результате агрометеорологические данные за период 1997–2006 гг. (таблица 2) показывают, что вероятность достижения полной спелости зерна гибридами раннеспелой группы в Витебской области составляют от 20 до 60 %, среднеранней группы – от 20 до 50 %, с минимумом в Поставском районе (Лынтупы).

Однако, если проанализировать накопление эффективных температур за последние 10 лет (2007–2016 гг.) исследуемого периода, можно сделать вывод о том, что вероятность наступления полной спелости зерна кукурузы по сравнению с предыдущим периодом увеличилась в основном на 20–30 %, в отдельных районах на 40–60 % (таблица 3).

Таблица 2. – Агрометеорологические данные за период 1997–2006 гг.

Метеостанция	Суммы эффективных температур выше +10 ºС	Раннеспелые гибриды ФАО 131-180		Среднеранние гибриды ФАО 181-230	
	1997–2006 гг.	% лет достижения		% лет достижения	
		восковой спелости зерна	полной спелости зерна	восковой спелости зерна	полной спелости зерна
Витебск	892	90	60	60	50
Верхнедвинск	810	60	30	30	20
Езерище	780	30	20	20	20
Шарковщина	843	70	50	50	30
Лынтупы	762	40	30	30	20
Полоцк	834	70	50	50	30
Докшицы	788	40	30	30	20
Лепель	861	70	60	60	40
Сенно	877	70	60	60	50
Орша	824	60	40	40	20

Таблица 3. – Агрометеорологические данные за период 2007–2016 гг.

Метеостанция	Суммы эффективных температур выше +10 ºС	Раннеспелые гибриды ФАО 131-180		Среднеранние гибриды ФАО 181-230	
	2007–2016 гг.	% лет достижения		% лет достижения	
		восковой спелости зерна	полной спелости зерна	восковой спелости зерна	полной спелости зерна
Витебск	1026	100	90	90	80
Верхнедвинск	878	70	60	60	50
Езерище	877	80	60	60	50
Шарковщина	922	80	70	70	60
Лынтупы	821	60	50	50	20
Полоцк	927	80	80	80	60
Докшицы	871	80	70	70	50
Лепель	979	90	80	80	80
Сенно	1004	100	80	80	80
Орша	963	90	80	80	80

По данным диаграммы (рисунок 1), теплообеспеченность периода 2007–2016 гг. увеличилась на 59–139 ºС, при этом наибольший прирост эффективных температур (выше +10 ºС) отмечается в ряде южных и некоторых восточных районах области.

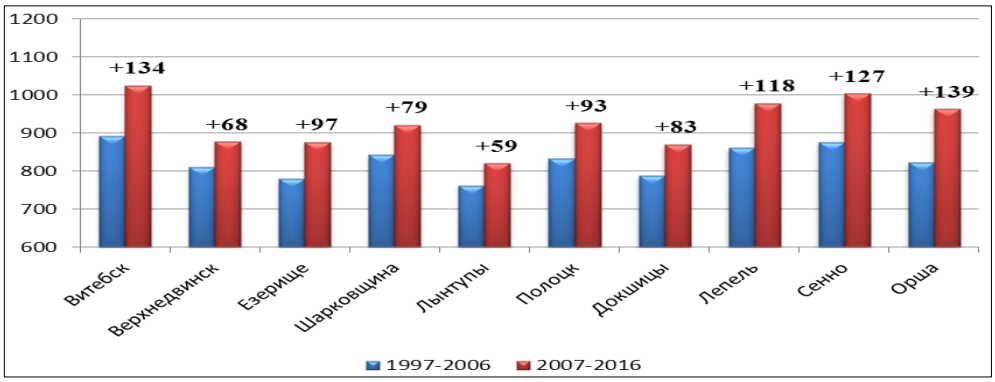
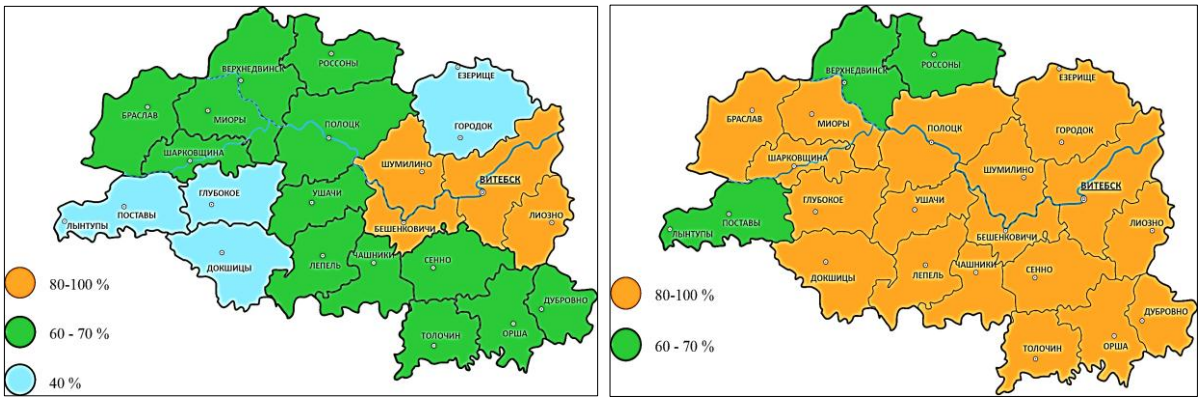


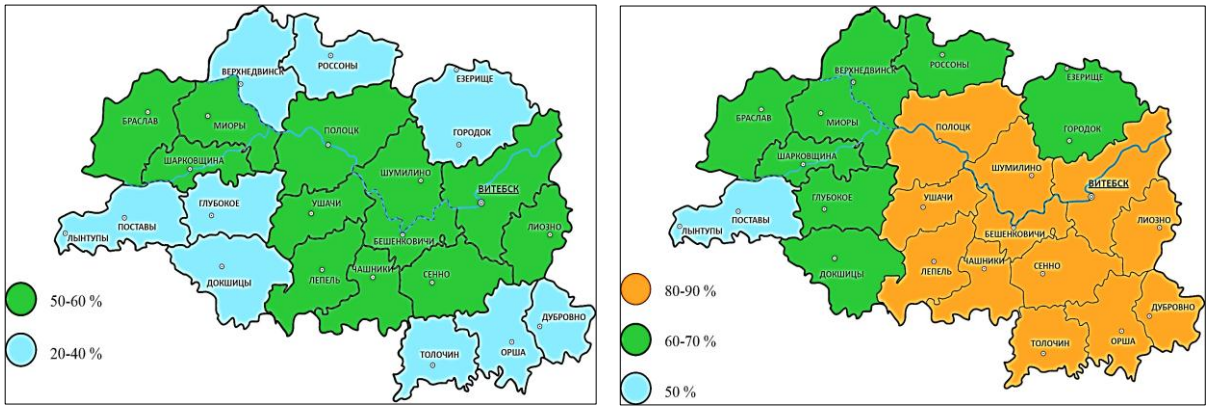
Рисунок 1. – Сумма эффективных температур выше +10 ºС с мая по сентябрь за периоды 1997–2006 гг. и 2007–2016 гг.

Вероятность наступления восковой и полной спелости гибридов кукурузы представлена на рисунках 2–5. При нанесении результатов исследования на карту учитывались данные по пунктам гидрометеорологических наблюдений, в которых они проводятся, и интерполировались на прилегающие к ним административные районы.



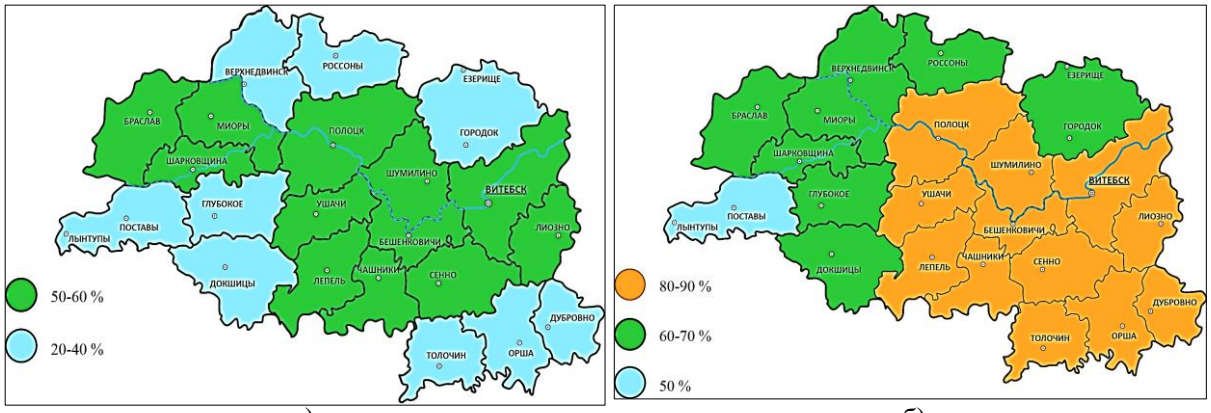
а) б)

Рисунок 2. – Вероятность (%) лет получения восковой спелости зерна кукурузы у гибридов раннеспелой группы по районам Витебской области за периоды: а) 1997–2006 гг.; б) 2007–2016 гг.



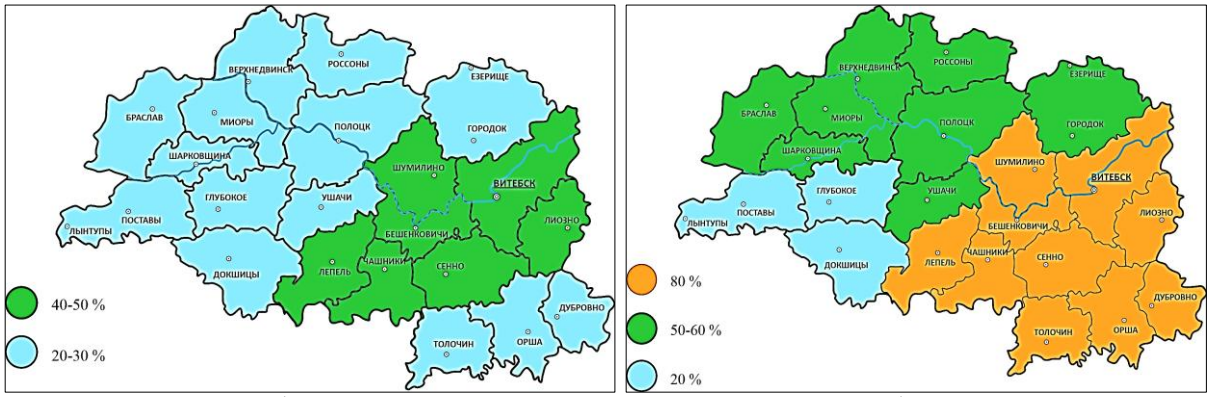
а) б)

Рисунок 3. – Вероятность (%) лет получения полной спелости зерна кукурузы у гибридов раннеспелой группы по районам Витебской области за периоды: а) 1997–2006гг.; б) 2007–2016 гг.



а) б)

Рисунок 4. – Вероятность (%) лет получения восковой спелости зерна кукурузы у гибридов среднеранней группы по районам Витебской области за периоды: а) 1997–2006 гг.; б) 2007–2016 гг.



а) б)

Рисунок 5. – Вероятность (%) лет получения полной спелости зерна кукурузы у гибридов среднеранней группы по районам Витебской области за периоды: а) 1997–2006 гг.; б) 2007–2016 гг.

В период 1997–2006 гг. большинство районов Витебской области (13 из 21) имели вероятность (%) лет получения восковой спелости зерна кукурузы у гибридов раннеспелой группы 60–70 %, 4 района (Поставский, Глубокский, Докшицкий, Городокский) – 40 % и 4 района (Шумилинский, Бешенковичский, Витебский, Лиозненский) – 80–100 %. В следующее десятилетие (2007–2016 гг.) вероятность (%) лет получения восковой спелости зерна у гибридов раннеспелой группы 80–100 % уже имели 18 из 21 района Витебской области, за исключением трех (Поставский, Верхнедвинский, Россонский), где она составила 60–70 %.

Вероятность (%) лет получения полной спелости зерна кукурузы у гибридов раннеспелой группы 80–100 % в период 1997–2006 гг. не отмечена ни в одном из районов Витебской области; большинство районов (12 из 21) имели 50–60 %, а 9 районов (Поставский, Глубокский, Докшицкий, Верхнедвинский, Россонский Городокский, Толочинский, Оршанский, Дубровенский) – лишь 20–40 %. В следующее десятилетие (2007–2016 гг.) вероятность (%) лет получения зрелого зерна значительно повысилась. В восьми районах (Докшицкий, Глубокский, Шарковщинский, Браславский, Миорский, Верхнедвинский, Россонский, Городокский) она составила 60–70 %, 12 районов (Витебский, Лиозненский, Шумилинский, Бешенковичский, Полоцкий, Ушачский, Лепельский, Чашникский, Сенненский, Оршанский, Дубровинский, Толочинский) имели 80–90 %, самый низкий процент (50 %) отмечен лишь в одном Поставском районе.

Территориальные особенности вероятности (%) лет получения полной спелости зерна кукурузы у гибридов раннеспелой группы и восковой спелости зерна кукурузы у гибридов среднеранней группы оказались схожими.

В период 1997–2006 гг. большинство районов Витебской области (14 из 21) имели вероятность (%) лет получения полной спелости зерна кукурузы у гибридов среднеранней группы 20–30 %, 7 районов (Лепельский, Чашникский, Шумилинский, Бешенковичский, Сенненский, Витебский, Лиозненский) – 40–50 %. В следующее десятилетие (2007–2016 гг.) вероятность (%) лет получения полной спелости зерна у гибридов среднеранней группы 50–60 % имели 8 районов, а 10 из 21 района Витебской области (Лепельский, Чашникский, Шумилинский, Бешенковичский, Сенненский, Витебский, Лиозненский, Толочинский, Оршанский, Дубровенский) уже имели 80 %, и лишь три района (Поставский, Глубокский, Докшицкий) имели 20 %.

Заключение

Таким образом, рассмотрев агрометеорологические условия районов Витебской области за период с 1997 по 2006 г., выявлено, что вероятность получения полной спелости зерна кукурузы невысока: от 35 до 60 % у гибридов раннеспелой группы и от 20 до 50 % у гибридов среднеранней группы.

Однако данные за период 2007–2016 гг. показывают, что теплообеспеченность с мая по сентябрь увеличилась и вероятность получения зрелого зерна у раннеспелых и среднеранних гибридов возросла на 15–30 %, а при создании идеальных условий технологии выращивания (размещение на легких плодородных почвах, южных склонах, защищенных от северных ветров участках и т. д.) возможно еще на 10–20 % повысить вероятность получения зрелого зерна в любом из районов Витебской области [1].

Для получения полноценного урожая зерна у скороспелых гибридов необходимо иметь минимум 800 ºС эффективных температур с вероятностью 80 % (8 лет из 10) [1]. Проанализировав накопившиеся эффективные температуры выше +10 ºС за последние 10 лет (2007–2016 гг.) исследуемого периода, можно выделить районы, в которых вероятность получения полной спелости зерна составляет 80 % и более: для раннеспелых гибридов (ФАО 131-180) это Витебский, Лиозненский, Шумилинский, Бешенковичский, Полоцкий, Ушачский, Лепельский, Чашникский, Сенненский, Оршанский, Дубровенский и Толочинский; для среднеранних гибридов (ФАО 181-230) это те же районы, за исключением Полоцкого и Ушачского.

Так как сумма эффективных температур в разные годы может изменяться, для получения высокой степени вероятности урожая зерна в этих районах следует отдать предпочтение раннеспелым гибридам.

Данное исследование позволило выявить, насколько вероятно достижение фаз восковой и полной спелости зерна кукурузы скороспелыми гибридами на территории Витебской области в условиях потепления климата, и на основании проведенных расчетов вероятности выявлена возможность ее производства на зерно в северном регионе Беларуси. Несомненно, проведенное исследование является основой для дальнейшего более глубокого анализа полученных результатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надточаев, Н. Ф. Возделывание кукурузы на зерно и силос [Электронный ресурс] / Н. Ф. Надточаев, М. А. Мелештвич. – Режим доступа: http://agrosbornik.ru. – Дата доступа: 23.08.2019.

2. Кукуруза (выращивание, уборка, консервирование и использование) / Д. Шпаар [и др.] ; под общ. ред. Д. Шпаара. – М. : DVL Агродело, 2006. – 390 с.

3. Биологические особенности кукурузы, требования к теплу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://agrosbornik.ru. – Дата доступа: 03.09.2019.

4. Барановский, А. М. Гибриды кукурузы фирмы «КВС» и технология их выращивания в Беларуси / А. М. Барановский, В. В. Шолтанюк, В. В. Зеленяк. – Минск : KWS SAAT AG, 2013. – 104 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 10.02.2020

УДК 314+911.3 (476)

А. А. Сидорович
канд. геогр. наук, доц. каф. туризма и страноведения
Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина
e-mail: brestsid@yahoo.com

ФОРМИРОВАНИЕ ТРУДОВЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ДЕПОПУЛЯЦИИ И СТАРЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ*

Проведен анализ структуры факторов динамики численности населения трудоспособного возраста, составляющего основу трудовых ресурсов Беларуси. Установлено, что решающая роль в убыли трудоспособного населения Беларуси принадлежит структурно-демографическому фактору. При этом 2/3 убыли связано с возрастным движением населения, а 1/3 – со смертностью. На уровне административно-территориальных районов возрастает значение миграционного фактора. В 39 районах Беларуси структурно-демографический фактор уступает первостепенное значение миграционному фактору. Приток населения из данных районов в г. Минск, областные центры и урбанизированные районы столичного региона обеспечивает в последних прирост трудоспособного населения либо в значительной степени минимизирует убыль. В условиях роста смертности и деформации половозрастной структуры населения такие миграционные потоки усугубляют процессы формирования трудовых ресурсов большей части районов.

SIDOROVICH A. A.
FORMATION OF LABOR RESOURCES OF BELARUS UNDER CONDITIONS OF DEPOPULATION AND AGING OF THE POPULATION

The article analyzes the structure of factors of the dynamics of the working-age population, which forms the basis of the supply of services on the Belarusian labor market. It has been established that the decisive role in the decline in the working-age population of Belarus belongs to the structural and demographic factor. At the same time, 2/3 of the decline is associated with the age movement of the population and 1/3 with mortality. At the level of administrative-territorial areas, the importance of the migration factor is increasing. In 39 districts of Belarus. The influx of population from these areas to the city of Minsk, regional centers and urbanized areas of the capital region ensures an increase in the able-bodied population in them, or significantly minimizes the decline. In the context of increasing mortality and deformation of the age and gender structure of the population, such migration flows exacerbate the processes of formation of labor resources in most of the regions.

Введение

На трансформацию рынка труда – снижение предложения и изменение структуры услуг труда – значительное влияние оказывает сокращение численности населения и его демографическое старение. Население трудоспособного возраста составляет основу населения, занятого в экономике, и поэтому является продуцентом добавленной стоимости, национального дохода, источником налоговых поступлений в бюджет, отчислений в пенсионные фонды и фонды социальной защиты населения. В свою очередь, население вне трудоспособного возраста выступает основным получателем государственных расходов, в частности, на образование, здравоохранение, социальное и пенсионное обеспечение. Старение населения является результатом длительных демографических изменений, сдвигов в характере воспроизводства населения и миграционных процессов. Сокращение детской смертности, повышение доступности образования и возможностей трудоустройства, продвижение гендерного равенства, а также содействие репродуктивному здоровью и доступу к планированию семьи в совокупности способствовали снижению рождаемости. Более того, достижения в области здравоохранения и медицинских технологий наряду с улучшением условий жизни сопровождаются увеличением продолжительности жизни. Выявление пространственно-временных тенденций

**Исследование выполнено при финансовой поддержке БРФФИ (грант № Г20М-030)*

динамики трудоспособного населения позволяют повысить эффективность проводимой демографической политики и политики в сфере занятости населения, разрабатывать региональные меры по минимизации негативных процессов трансформации рынка труда Беларуси. Целью данного исследования является определение региональной структуры факторов динамики трудоспособного населения Беларуси в 2010-х гг.

Материалы и методика исследования

Основу трудовых ресурсов составляет население в трудоспособном возрасте. Данная категория населения обеспечивает большую часть предложения на рынке труда. Под влиянием демографических процессов могут происходить существенные дисбалансы между спросом и предложением на рынке труда. Если спрос на услуги труда определяется темпами экономического развития, то предложение в первую очередь зависит от динамики численности трудоспособного населения. Таким образом, при высоких темпах роста численности населения происходит увеличение предложения услуг труда. И если его темпы опережают темпы экономического роста, на рынке труда возникает трудоизбыточная ситуация. Если же темпы роста численности трудоспособного населения отстают от темпов экономического роста, тогда формируется трудодефицитный рынок труда, и впоследствии такая ситуация может привести к замедлению экономического развития. Однако как ускоренный рост, так и убыль трудоспособного населения приводят к демографической трансформации рынка труда, нарушая равновесие между спросом и предложением услуг труда.

На динамику численности трудоспособного населения оказывают влияние три фактора: структурно-демографический, миграционный и институциональный.

Структурно-демографический фактор включает в себя смертность, вступление молодежи в трудоспособный возраст и достижение населением пенсионного возраста. Последние два элемента представляют собой возрастной переход (возрастное движение) между тремя основными возрастными контингентами – населением младше трудоспособного, трудоспособного и старше трудоспособного возраста. Миграционный фактор влияет на величину трудовых ресурсов посредством прибытий и выбытий, разность между которыми определяет миграционное сальдо. Изменение численности трудоспособного населения, обусловленное нормативно-правовой корректировкой возрастных границ трудоспособности, является институциональным фактором динамики трудовых ресурсов. Институциональный фактор стал формировать численность трудоспособного населения Беларуси с 2017 г. в результате проведения пенсионной реформы.

В данном исследовании оценка структуры факторов проведена по усредненным данным за 2012–2016 гг., т. е. до проведения пенсионной реформы и, следовательно, до проявления институционального фактора.

Для определения вклада каждого из факторов в динамику численности трудоспособного населения и установления их структуры предложена соответствующая методика расчета. Для расчета изменения численности трудоспособного населения посредством структурно-демографического фактора используется формула:

$$СДФ = ВМ - ВП - У, \quad (1)$$

где СДФ – абсолютное изменение численности трудоспособного населения за анализируемый период за счет структурно-демографического фактора; ВМ – численность молодежи, вступившей в трудоспособный возраст за соответствующий период; ВП – численность населения, достигшего пенсионного возраста; У – численность лиц, умерших в трудоспособном возрасте за анализируемый период.

Изменение численности населения под воздействием миграционного фактора рассчитывается по формуле:

$$М = П - В, \quad (2)$$

где М – абсолютное изменение численности трудоспособного населения за анализируемый период за счет миграционного фактора; П – численность лиц трудоспособного возраста, прибывших из других территорий за соответствующий период; В – численность лиц трудоспособного возраста, выбывших в другие регионы.

Для расчета соотношения и доли каждого из факторов в динамике численности населения трудоспособного возраста абсолютное изменение, обусловленное конкретным фактором, делится на общее абсолютное изменение численности данного контингента населения.

Показатели, применяемые для анализа возрастной структуры населения, и методика их расчета представлены в таблице 1. Наиболее комплексную количественную оценку особенностей возрастной структуры трудоспособного населения и соотношения между отдельными возрастными группами дает показатель среднего возраста.

Для анализа степени деформации половой структуры предложен интегрированный индекс деформации половой структуры трудоспособного населения. Данный показатель рассчитывается как среднее линейное отклонение долей мужского либо женского населения от 50 % в одной четырехлетней возрастной группе (16–19 лет) и семи пятилетних возрастных группах (от 20 до 54 лет).

Таблица 1. – Показатели возрастной структуры и старения трудоспособного населения

Показатель	Методика расчета
Средний возраст трудоспособного населения ($СВ_{тн}$), лет	$СВ_{тн} = \sum (ЧТН_n \times n) / ЧТН$
Коэффициент регрессии возрастной структуры (КРВС)	КРВС = ЧС / ЧМ
Доля населения 16–30 лет в общей численности трудоспособного населения ($ТН_{16–30(\%)}$), %	$ТН_{16–30(\%)} = ЧТН_{16–30} / ЧТН \times 100$ %
Коэффициент общей демографической нагрузки (ДН)	ДН = (ЧМ + ЧС) / ЧТН

Примечание – 1) ЧМ, ЧТН, ЧС, $ЧТН_{16–30}$ – численность населения младше трудоспособного, трудоспособного, старше трудоспособного возрастов и населения в возрасте 16–30 лет соответственно; 2) $ЧТН_n$ – численность трудоспособного населения возраста n.

Результаты исследования и их обсуждение

Демографическая нагрузка в Беларуси в целом и в отдельных областях не превышает 100. Наименьшая демографическая нагрузка характерна для г. Минска, который привлекает трудоспособное населения из других регионов.

Самые большие показатели отмечаются в Брестской и Минской областях – 79,5 и 80,8 соответственно, что выше, чем в менее благополучных в демографическом отношении Витебской и Могилевской областях (рисунок 1). Это обусловлено тем, что в первых двух областях относительно более высокая доля детей в общей численности населения.

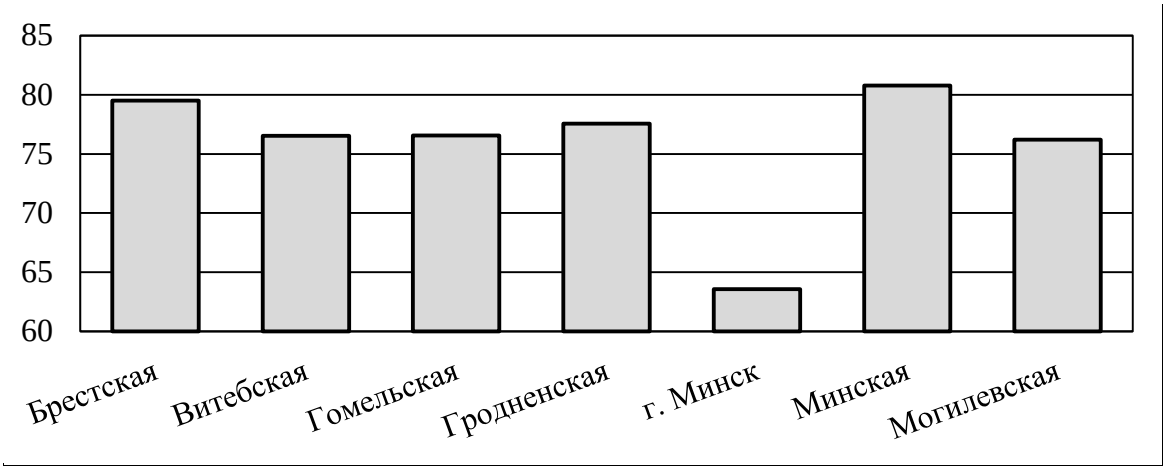


Рисунок 1. – Коэффициент общей демографической нагрузки, 2018 г.
(рассчитано по [1])

В начале 2018 г. численность населения вне трудоспособного возраста превышала численность трудоспособного населения в 22 административно-территориальных районах. Наибольшая демографическая нагрузка характерна для районов с наибольшей долей населения пенсионного возраста – Бобруйского (120), Зельвенского (113), Свислочского (111), Петриковского (110) районов. Также высокие значения данного показателя имеют место в районах со средним удельным весом лиц старше трудоспособного возраста и долей детей выше среднего – Дрогичинском (103) и Ивановском (101) районах. Низкая демографическая нагрузка наблюдается в районах с крупными индустриальными (Борисовский, Жлобинский, Мозырский районы) либо образовательными центрами (Горецкий район) (рисунок 2).

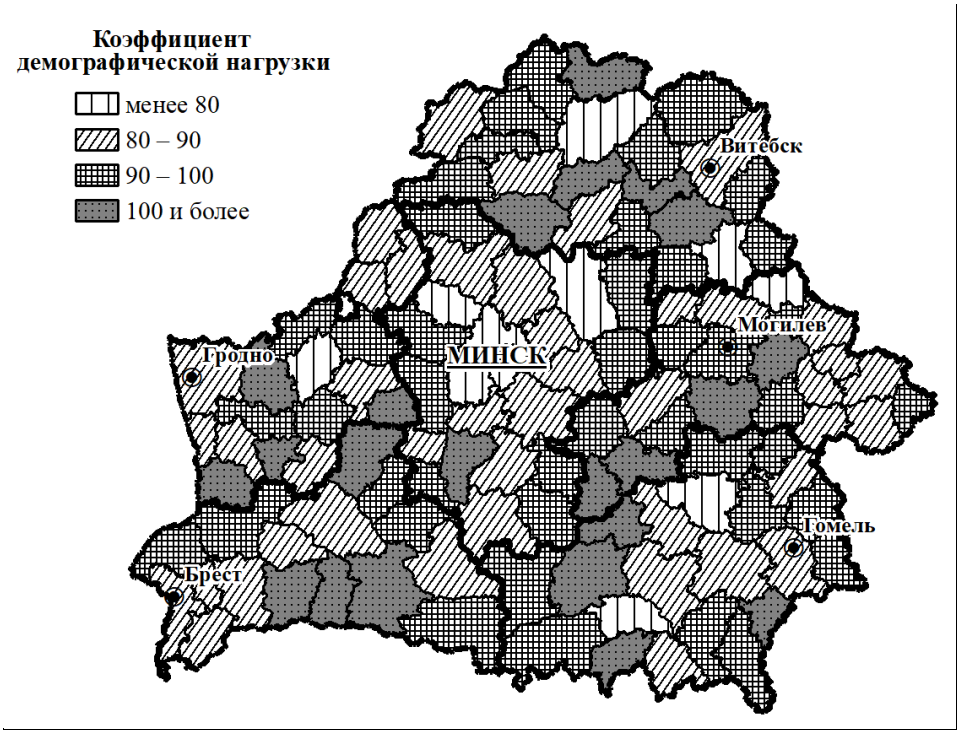


Рисунок 2. – Коэффициент общей демографической нагрузки по административно-территориальным районам, 2018 г. (рассчитано по [1–3])

В дополнение к коэффициенту общей демографической нагрузки анализируется коэффициент регрессии возрастной структуры, который характеризует отношение численности лиц старше трудоспособного возраста и численности лиц моложе трудоспособного возраста. Лишь в двух районах (Кормянском и Минском) число детей превышает численность лиц пенсионного возраста – 0,9. Относительно низкие показатели (менее 1,2) характерны для ряда районов, относящихся к наиболее пострадавшим от аварии на ЧАЭС: Брагинского, Краснопольского, Наровлянского и Хойникского (рисунок 3). В 81 районе коэффициент регрессии возрастной структуры превысил 1,5, в 17 районах – 2,0: на 1 жителя в возрасте младше трудоспособного приходится 2 и более жителей пенсионного возраста. К таким районам относятся Дятловский (2,0), Зельвенский (2,6), Кореличский (2,4), Свислочский (2,4), Щучинский (2,3) (Гродненская обл.); Бешенковичский (2,4), Верхнедвинский (2,0), Городокский (2,2), Докшицкий (2,0), Лиозненский (2,0), Миорский (2,0), Россонский (2,2), Сенненский (2,1), Ушачский (2,3), Шарковщинский (2,1) (Витебская обл.), а также Мядельский (2,1) (Минская обл.) и Бобруйский (2,3) Могилевская обл.).

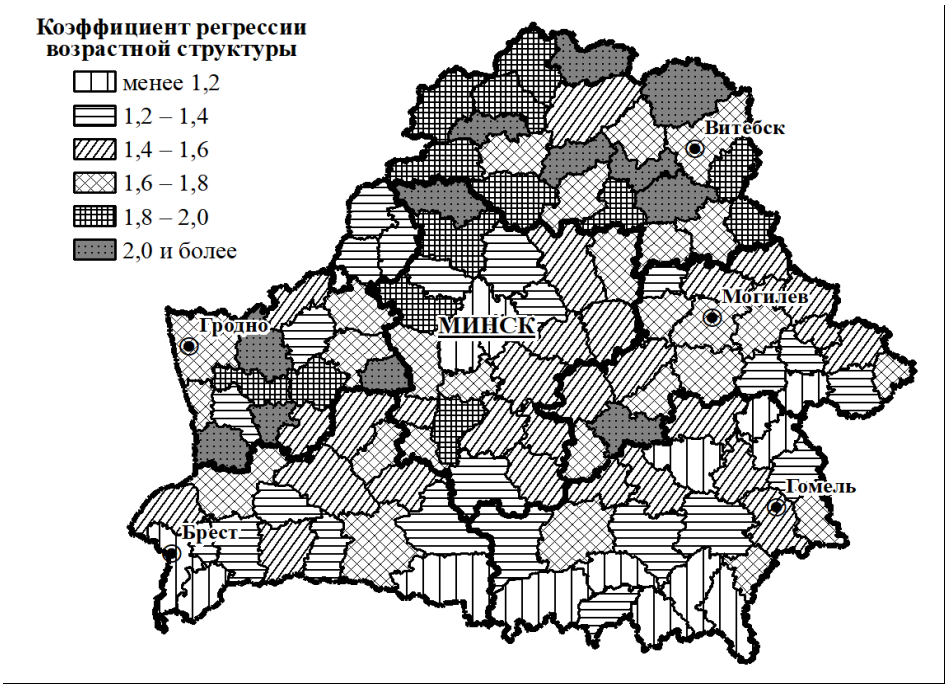


Рисунок 3. – Коэффициент регрессии возрастной структуры населения по административно-территориальным районам Беларуси, 2018 г.
(рассчитано по [1–3])

Как свидетельствуют данные рисунка 4, возрастной состав трудоспособного населения Беларуси на мезогеографическом уровне отличается относительной однородностью. Средний возраст трудоспособного населения варьирует от 35,3 лет в г. Минске до 38,0 в Минской области. Если во 2-й половине XX в. территориальная дифференциация возрастной структуры населения определялась в значительной степени размещением новых промышленных предприятий, то в конце XX и начале XXI в. на первый план выходит размещение учреждений профессионального образования, поскольку в них обучается значительная доля лиц младших возрастных групп трудоспособного населения [4]. Так, доля обучающихся с отрывом от производства в общей численности населения трудоспособного возраста составляет от 6,4 % в Минской области до 11,5 % в г. Минске. В других регионах данный показатель находится в пределах 8,0−8,9 %. На г. Минск приходится 1/4 обучающихся на дневной форме в учреждениях среднего специального и 1/2 – высшего образования. В Минской же области с отрывом от производства обуча-

ется 6 % от общей численности таких обучающихся в Беларуси, что в 1,5 раза меньше, чем в Гродненской области.

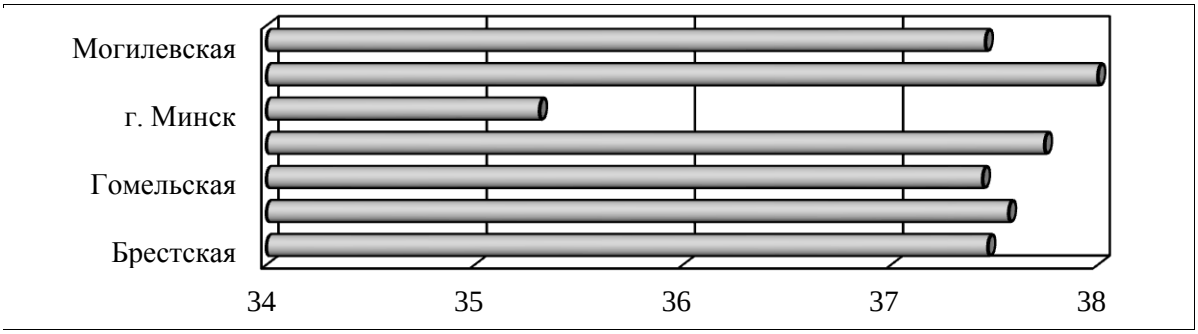


Рисунок 4. – Средний возраст трудоспособного населения регионов Беларуси, 2018 г.
(рассчитано по [3])

В разрезе районов наиболее «молодое» трудоспособное население характерно для регионов с большими, крупными и крупнейшими городами, а самое «старое» – для аграрных с центрами в малых городских поселениях. В 41 районе средний возраст трудоспособного населения составляет 40 лет и более. Наиболее «старыми» являются Зельвенский и Петриковский районы (42 года) (рисунок 5).

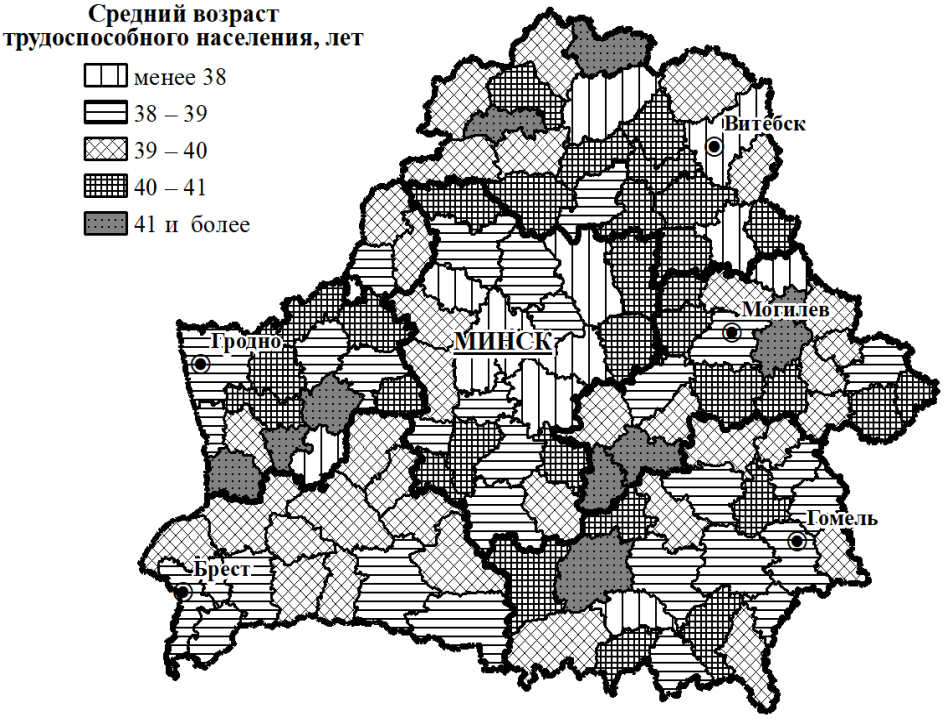


Рисунок 5. – Средний возраст трудоспособного населения, 2018 г.
(рассчитано по [3])

Среди факторов, в наибольшей степени оказывающих влияние на территориальную дифференциацию возрастной структуры населения, главную роль играет размещение учреждений профессионального образования. С одной стороны, наличие учреждений образования подобного типа в пределах района уменьшает потенциальный отток молодежи с целью получения образования, а с другой – обусловливает миграционный

приток [5]. Так, приток студентов способствует тому, что в Горецком районе отмечается самый низкий средний возраст трудоспособного населения (35,7 лет).

Другим важным показателем, характеризующим возрастную структуру трудоспособного населения, а также характер формирования предложения на рынке труда, является доля лиц в возрасте 16–30 лет в общей численности трудоспособного населения. Данный показатель варьирует в очень широких пределах – от 15,4 % в Петриковском до 39,6 % в Горецком районе. Об интенсификации темпов старения населения свидетельствует тот факт, что в 2009 г. в 90 районах доля данной возрастной группы превышала 30 % общей численности населения трудоспособного возраста, в то время как в 2017 г. таких районов было всего 12. На этом фоне выделяются районы Минской области, образующие единый ареал с высокой долей лиц 16–30 лет (рисунок 6).

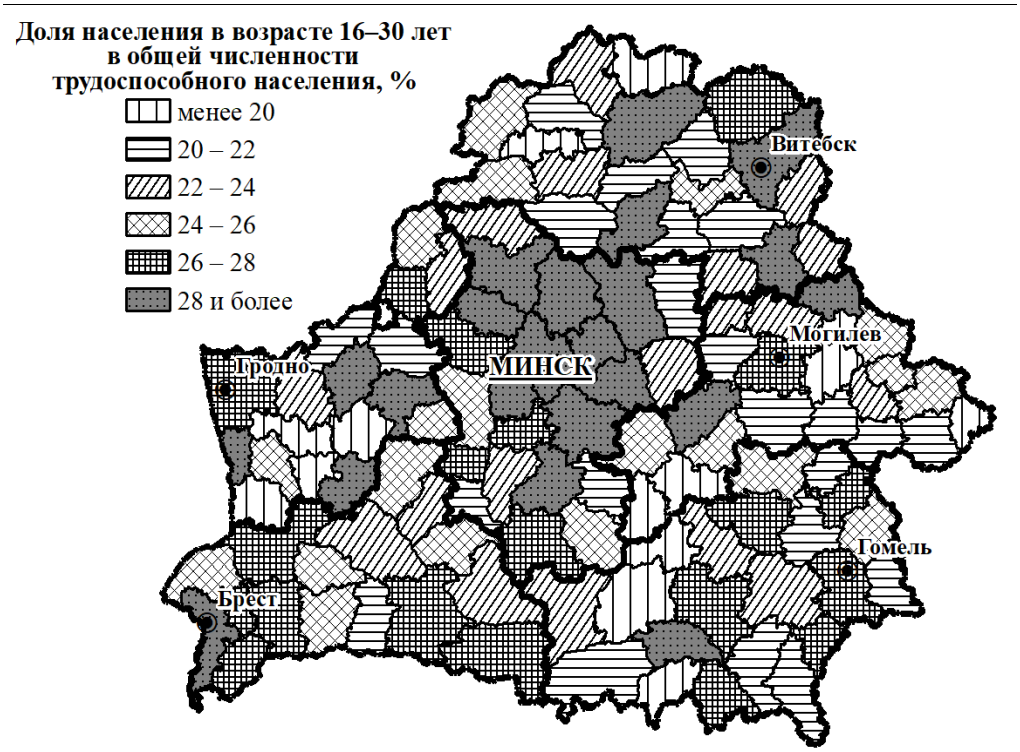


Рисунок 6. – Доля населения в возрасте 16–30 лет в общей численности трудоспособного населения, 2018 г. (рассчитано по [3])

Снижение рождаемости сказывается на численности лиц, пополняющих трудовые ресурсы, по прошествии 16-летнего периода ввиду временного разрыва между фактом рождения и вступлением в трудоспособный возраст. В связи с этим для аналитических целей нами предложен новый показатель – индекс возрастной деформации, который отражает эффективность восполнения трудовых ресурсов в процессе старения населения [6]. Фактически показатель отражает возможность и степень компенсации выбытия населения из состава трудоспособного населения при достижении пенсионного возраста путем вхождения молодежи в трудоспособный возраст в течение ближайших 10 лет. Индекс показывает отношение численности лиц, выбывающих из трудоспособного возраста, к численности лиц, вступающих в него. В Беларуси в целом этот показатель составляет 142. Почти в половине районов значения показателя составляют 150 и более, а в Кореличском, Бешенковичском и Зельвенском районах в среднем на каждые 100 человек, вступающих в трудоспособный возраст, в ближайшие 10 лет будет приходиться 200 и более человек, выбывающих из него (рисунок 7). До 2027 г. только в Минском

и Столинском районах возможна стабилизация или рост численности трудоспособного населения за счет собственного демографического потенциала.

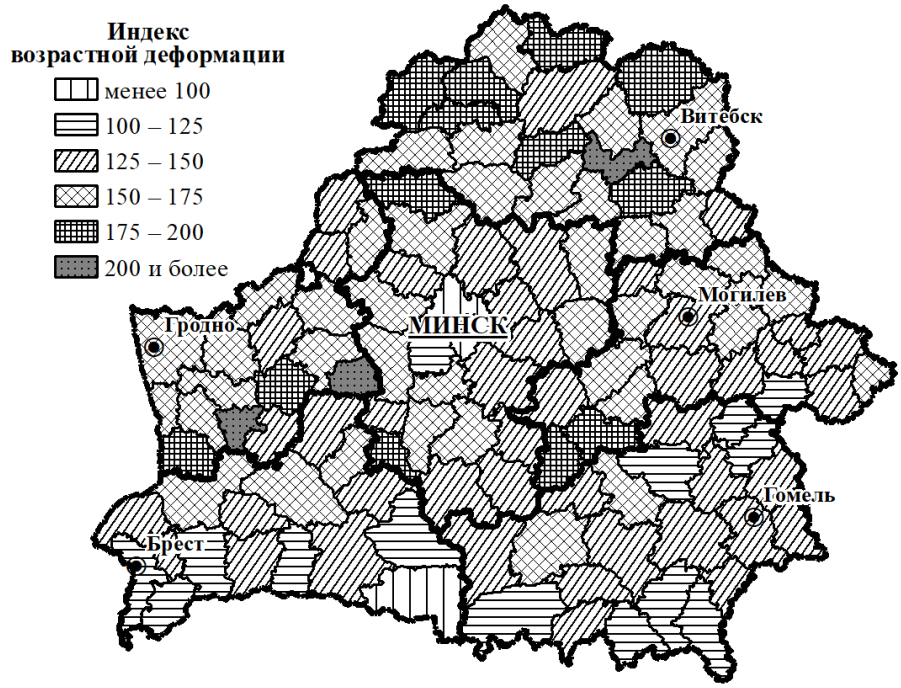


Рисунок 7. – Индекс возрастной деформации (рассчитано по [3])

Совокупный вклад смертности и возрастного движения на изменение численности трудоспособного населения рассматривается как структурно-демографический фактор. На уровне всех областных регионов данный фактор занимает лидирующее место. В Минской области и г. Минске исключительно данный фактор определяет направление динамики трудоспособного контингента. В Брестской и Гродненской областях в связи с возрастанием значения миграционного фактора роль структурно-демографического фактора ниже (рисунок 8).

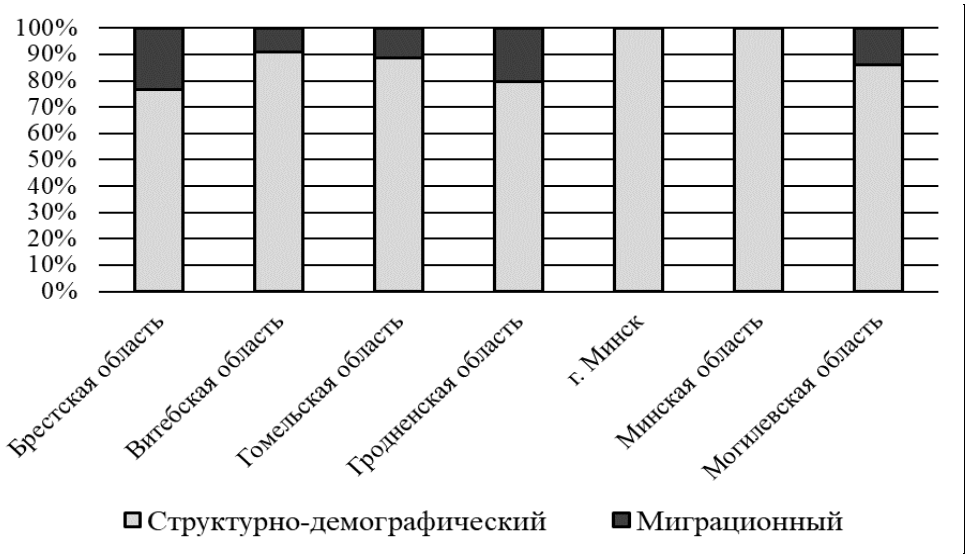


Рисунок 8. – Соотношение структурно-демографического и миграционного факторов в динамике трудоспособного населения Беларуси, ‰ (рассчитано по [3])

В разрезе административно-территориальных единиц 2-го уровня роль структурно-демографического фактора снижается в пользу миграционного фактора. Из 118 районов данный фактор является превалирующим в 76 районах, в 39 – первостепенная роль в убыли трудоспособного населения принадлежит миграционному оттоку, а в 3 районах миграционный фактор, напротив, обеспечивал прирост населения (рисунок 9).

Наименьшая доля структурно-демографического фактора в первую очередь характерна для полесских районов, а также в целом для районов, наиболее пострадавших от аварии на ЧАЭС. Структурно-демографический фактор играет наибольшую роль в районах Минской области, а также в районах с развитыми индустриальными центрами (Борисовский, Мозырский, Оршанский и др.). Среди них выделяется группа районов, в которых убыль трудоспособного населения определяется исключительно структурно-демографическим фактором (Брестский, Гродненский, Логойский).

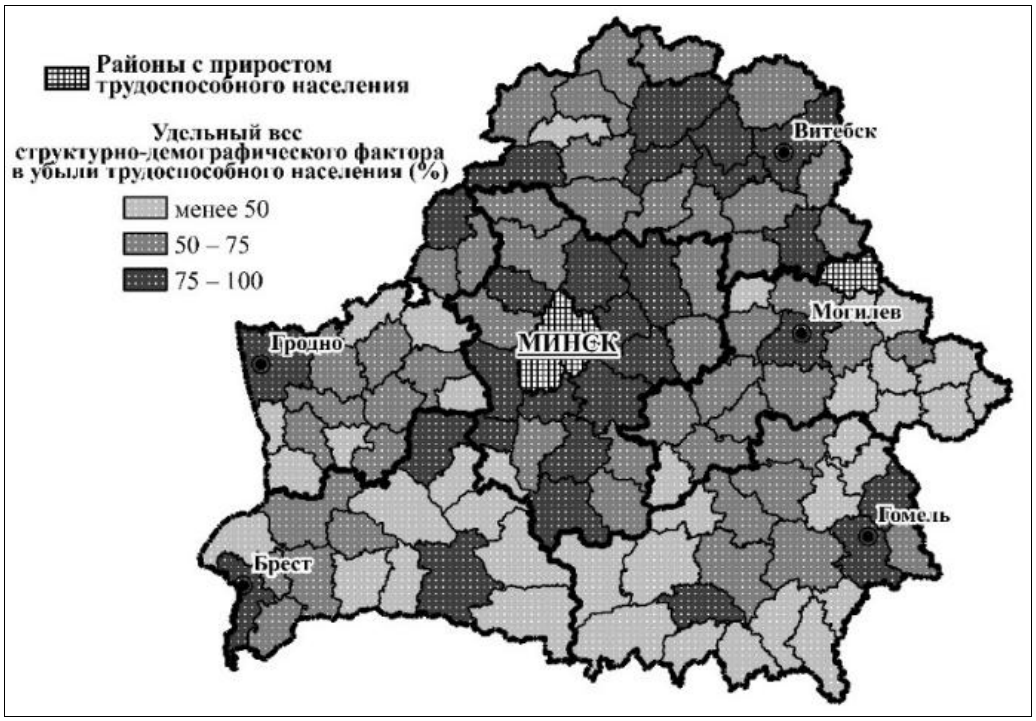


Рисунок 9. – Удельный вес структурно-демографического фактора в динамике трудоспособного населения Беларуси, ‰ (рассчитано по [1–3])

Фактор возрастного движения (старения) оказал положительное воздействие на динамику численности трудоспособного населения только в трех районах: в Наровлянском и Брагинском районах Гомельской области и Столинском районе Брестской области с интенсивностью возрастного прироста 5,1, 3,1 и 4,7 ‰ соответственно. Однако данный фактор не смог компенсировать смертность и миграционный отток трудоспособного населения.

Наибольший удельный вес возрастного движения в сокращении численности трудоспособного контингента населения характерен для городов областного подчинения и районов, входящих в зону непосредственного их влияния (таблица 2).

Таблица 2. – Районы и города областного подчинения Беларуси с наибольшей и наименьшей долями возрастного перехода в сокращении численности населения трудоспособного возраста за период 2012−2016 гг., % (рассчитано по [1–3])

Районы и города областного подчинения с наибольшей долей возрастного перехода			Районы и города областного подчинения с наименьшей долей возрастного перехода		
№	Административная единица		№	Административная единица	
1	г. Жодино	75	1	Ивьевский р-н	2
2	г. Гомель	73	2	Лельчицкий р-н	3
3	г. Витебск	72	3	Кормянский р-н	3
4	г. Новополоцк	70	4	Хойникский р-н	7
5	г. Могилев	68	5	Краснопольский р-н	8
6	Брестский р-н	67	6	Дрогичинский р-н	8
7	Барановичский р-н	66	7	Чечерский р-н	8
8	Узденский р-н	66	8	Костюковичский р-н	10
9	Смолевичский р-н	65	9	Ошмянский р-н	10
10	г. Гродно	64	10	г. Барановичи	11

Около 3/4 всего сокращения численности трудоспособного населения г. Жодино приходится на превышения числа лиц, достигающих пенсионного возраста, над численностью контингента, вступающего в трудоспособный возраст. Минимальный удельный вес возрастной убыли наблюдается в Ивьевском районе и во многих районах, относящихся к категории наиболее пострадавших от аварии на ЧАЭС: Кормянский, Лельчицкий, Хойникский, Чечерский (Гомельская обл.), Костюковичский и Краснопольский (Могилевская обл.), – в которых этот показатель не превышает 10 %. Такая ситуация объясняется практически равным соотношением между возрастными контингентами, вступающими и выходящими из категории трудоспособного населения. Об этом свидетельствует интенсивность возрастной убыли, которая для этих районов приобретает также минимальные значения, не превышая 3 ‰. Иными словами, ежегодно в расчете на 1 000 человек трудоспособного возраста происходит выбытие трех человек за счет достижения общеустановленного пенсионного возраста (таблица 3).

Таблица 3. – Районы и города областного подчинения Беларуси с наибольшей и наименьшей интенсивностью возрастного перехода за период 2012−2016 гг., ‰ (рассчитано по [1–3])

Районы и города областного подчинения с наибольшей интенсивностью возрастной убыли			Районы и города областного подчинения с наименьшей интенсивностью возрастной убыли		
№	Административная единица		№	Административная единица	
1	Барановичский р-н	41,8	1	г. Барановичи	0,4
2	Россонский р-н	22,0	2	Ивьевский р-н	0,6
3	Бобруйский р-н	19,5	3	Кормянский р-н	1,1
4	Ушачский р-н	18,6	4	Лельчицкий р-н	1,2
5	Дубровенский р-н	18,2	5	Ошмянский р-н	1,3
6	Толочинский р-н	18,2	6	Чечерский р-н	1,9
7	Чаусский р-н	17,3	7	Дрогичинский р-н	2,4
8	Бешенковичский р-н	17,1	8	Хойникский р-н	2,5
9	Городокский р-н	16,8	9	Краснопольский р-н	2,7
10	Шумилинский р-н	16,7	10	Костюковичский р-н	2,8

Однако в ряде районов интенсивность демографического старения приобретает катастрофические масштабы, а интенсивность возрастной убыли превышает 15 ‰,

достигая наибольших значения в Барановичском, Россонском и Бобруйском районах. Как свидетельствуют данные рисунка 10, больше всего районов с наиболее интенсивной возрастной убылью населения концентрируется в Витебской области – в семи районах убыль превышает 15 ‰. Три таких района расположены в Могилевской и один в Брестской области. При этом компактно сформирован гомельско-могилевский ареал районов с наименьшей интенсивностью возрастной убыли, включающий 7 районов.

Также можно выделить южную группу районов с относительно стабильным возрастным балансом, включающую 5 районов Брестской области и 3 района Гомельской. Низкой интенсивностью демографической трансформации трудоспособного контингента населения характеризуются также 4 периферийно-приграничных района Гродненской области.

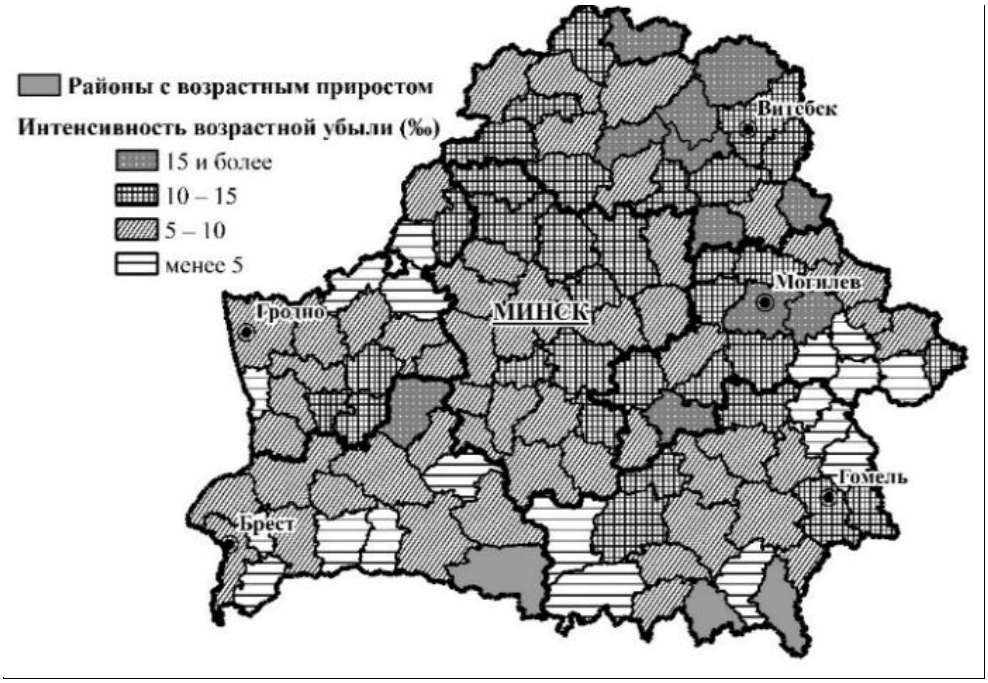


Рисунок 10. – Интенсивность возрастной убыли трудоспособного населения Беларуси, ‰ (рассчитано по [1–3])

Заключение

Таким образом, решающая роль в убыли трудоспособного населения Беларуси принадлежит структурно-демографическому фактору, что, по сути, является следствием деформации половозрастной структуры населения. При этом 2/3 убыли связано с возрастным движением населения и 1/3 – со смертностью.

На уровне административно-территориальных районов возрастает значение миграционного фактора. В 39 районах Беларуси структурно-демографический фактор уступает первостепенное значение миграционному фактору. Отток населения в г. Минска, областные центры и урбанизированные районы столичного региона обеспечивает в них прирост трудоспособного населения либо в значительной степени минимизирует убыль.

В условиях роста смертности и деформации половозрастной структуры населения такие миграционные потоки усугубляют процессы формирования трудовых ресурсов большей части административно-территориальных районов.

Установлено, что до 2027 г. только в Минском и Столинском районах возможна стабилизация или рост численности трудоспособного населения за счет собственного демографического потенциала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Демографический ежегодник Республики Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь ; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2019. – 429 с.

2. Демографический ежегодник Республики Беларусь : стат. сб. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь ; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. – Минск, 2015. – 449 с.

3. 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: 11.09.2019.

4. Сидорович, А. А. Эволюция источников формирования трудовых ресурсов Беларуси в 1959−2009 гг. / А. А. Сидорович // Вес. БДПУ. Сер. 3, Інфарматыка. Геаграфія. Біялогія. – 2014. – № 3. – С. 41−46.

5. Красовский, К. К. Урбанистическая эволюция Беларуси : монография / К. К. Красовский. – Брест : БрГУ им. А. С. Пушкина, 2009. – 237 с.

6. Сидорович, А. А. Факторы динамики мужского трудоспособного населения Беларуси / А. А. Сидорович // Вес. БДПУ. Сер. 3, Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Геаграфія. Біялогія. – 2018. – № 1. – С. 43−50.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 07.10.2020

УДК 314.18+314.37 (476.2)

А. С. Соколов
ст. преподаватель каф. экологии
Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины
e-mail: alsokol@tut.by

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВОСПРОИЗВОДСТВА ГОРОДСКОГО И СЕЛЬСКОГО НАСЕЛЕНИЯ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В 2010-х гг.

Современный этап демографического развития Гомельской области характеризуется сменой позитивных его тенденций на негативные. До 2016 г. включительно показатели воспроизводства населения заметно улучшались как для городского, так и для сельского населения (хотя для сельского населения наблюдался очень резкий отток женского населения репродуктивных возрастов), в 2017–2018 гг. они стали быстро ухудшаться, и в 2018 г. для городского населения стали ниже, чем в 2011 г. Вместе с тем отмечено непрерывное ухудшение показателей, характеризующих демографический потенциал, сдвиг рождений к более старым возрастам.

SOKOLOV A. S.

COMPARATIVE ANALYSIS OF REPRODUCTIVE DYNAMICS OF GOMEL OBLAST URBAN AND RURAL POPULATION IN THE 2010s

The current stage of the demographic development of Gomel oblast is characterized by a change of its positive trends to negative. Until 2016, inclusively, population reproduction rates improved for both urban and rural populations (simultaneously for rural it was a sharp outflow of reproductive female population), in 2017–2018 they began to deteriorate rapidly and in 2018 for urban population these indicators became lower than in 2011. During all period there was a continuous deterioration of indicators characterizing demographic potential. Statistic correlation between the number of women per 1000 men in the age groups and the age-specific fertility rate for these groups was found. It is most closely manifested for the rural population (with the exception of the 15–19 years group). Urban population is characterized by a stable, distinct shift in births to older ages; in the rural population share of births in 15–19 years group steady decrease, in 20–24 years group increased markedly until 2015, after it began to decrease. Also there is a gradual decrease in the proportion of first-order children in the total number of births and an increase in the proportion of third and subsequent children.

Введение

Актуальной проблемой для Беларуси в настоящее время продолжает оставаться естественная убыль, старение населения и их возможные негативные социальные, экономические и политические последствия (сокращение трудовых ресурсов, замедление темпов экономического развития, снижение уровня конкурентоспособности на мировом рынке, возрастание социальной нагрузки на экономику, угрозы национальной безопасности и др.). В свою очередь эти факторы негативно влияют на воспроизводство населения, вызывая трудовую миграцию, снижение уровня суммарной рождаемости, увеличение возраста вступления в брак, протогенетического (с момента вступления в брак до рождения первого ребенка) и интергенетических (между последовательными рождениями) интервалов, уменьшение желаемого и ожидаемого числа детей. Для своевременного реагирования на возникновение и развитие неблагоприятных демографических тенденций и разработке необходимых мер, призванных смягчить и компенсировать их масштабы и последствия, необходимо детальное изучение, мониторинг и анализ демографических процессов, позволяющий выявить наиболее актуальные проблемы, требующие оперативной корректировки государственной политики в данной области. Целесообразно проводить такое изучение в масштабах не только всей страны, но и отдельных регионов, учитывая характер расселения, с последующим выявлением факторов, обусловливающих региональные и иные различия демографической ситуации и ее динамики.

Целью исследования было выявить тенденции развития процессов воспроизводства населения Гомельской области с 2011 г., обусловливающие их факторы и их влияние на демографическую ситуацию в регионе.

Задачи исследования:

1) изучить динамику показателей, характеризующих и влияющих на процесс воспроизводства городского и сельского населения, выявить показатели со сходным характером динамики, определить наличие связей между показателями;

2) проанализировать изменения показателей общей и суммарной рождаемости, ее возрастной структуры, структуры по очередности рождений и т. д., определить их причины и влияющие на них факторы;

3) рассчитать и выявить изменения в распределении рождаемости на всем интервале репродуктивного возраста (тайминг рождений) за рассматриваемый период;

4) дать обобщенную характеристику демографического развития городского и сельского Гомельской области в 2010-х гг., выявить ее основные тренды, продолжение которых следует ожидать в ближайшем будущем.

Результаты и их обсуждение

В Беларуси в 2002 г. впервые со времен кризиса 1990-х гг. начались развиваться позитивные тенденции в развитии народонаселения – стала сокращаться убыль населения, увеличилось число рождений и коэффициенты рождаемости, возросла возрастная интенсивность деторождений и т. д. С той или иной степенью интенсивности эти процессы охватили все регионы Беларуси [1].

В первой половине второго десятилетии в Гомельской области эта тенденция продолжилась. Как видно их таблиц 1 и 2, абсолютное число родившихся как среди городского, так и среди сельского населения в основном возрастало с 2011 до 2016 гг. При этом абсолютное число женщин репродуктивного возраста постоянно сокращалось, особенно в сельской местности, где к 2016 г. оно уменьшилось на 24,4 %. Постоянно уменьшалась и доля женщин репродуктивного возраста в общем количестве женщин. К тому же доля женщин наиболее активных репродуктивных возрастов (20–34 г.) в общем количестве женщин репродуктивного возраста среди сельского населения также заметно снизилась – с 40,6 до 33,7 %. Это говорит о том, что увеличение числа рождений обусловливалось не изменением возрастной структуры, а именно увеличением интенсивности деторождений. В 2017–2018 гг. произошел резкий спад числа рождений до показателей ниже 2011 г.

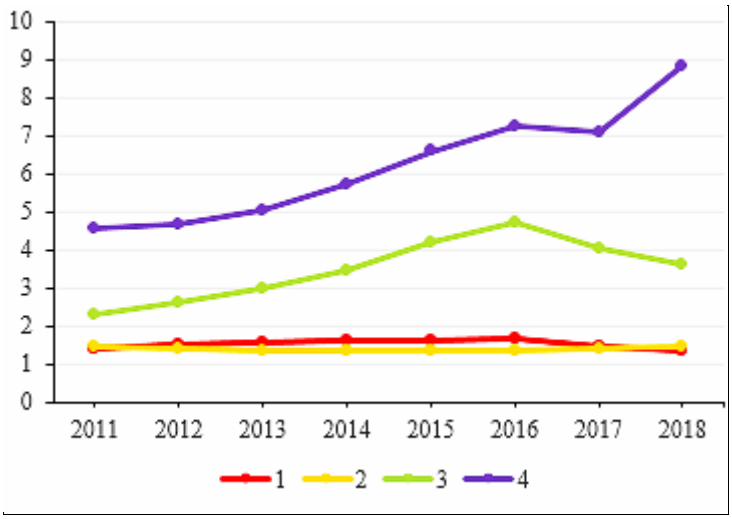
Таблица 1. – Динамика основных показателей воспроизводства городского населения

Показатель	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Число родившихся, % к уровню 2011 г.	100,0	108,9	111,9	113,1	114,6	113,9	99,6	90,7
Число женщин репродуктивного возраста, % к уровню 2011 г.	100,0	99,1	98,1	97,3	96,5	95,6	94,7	93,8
Доля женщин репродуктивного возраста среди всех женщин, %	50,5	49,7	48,9	48,2	47,6	47,0	46,5	46,0
Коэффициент общей плодовитости	41,9	46,0	47,7	48,7	49,7	49,8	44,0	40,5
Нетто-коэффициент воспроизводства	0,68	0,74	0,77	0,78	0,80	0,80	0,71	0,67
Истинный коэффициент ЕП	−13,9	−10,72	−9,56	−8,91	−8,04	−7,74	−11,79	−14,15
Длина женского поколения	27,3	27,5	27,8	27,9	28,3	28,5	28,6	28,6
Коэффициент депопуляции	1,04	0,91	0,87	0,87	0,83	0,83	0,95	1,07

Таблица 2. – Динамика основных показателей воспроизводства сельского населения

Показатель	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Число родившихся, % к уровню 2011 г.	100,0	99,9	103,7	101,0	102,1	102,2	87,3	78,6
Число женщин репродуктивного возраста, % к уровню 2011 г.	100,0	94,4	89,2	84,2	79,7	75,6	72,6	70,0
Доля женщин репродуктивного возраста среди всех женщин, %	38,4	37,4	36,4	35,3	34,2	33,2	32,5	31,9
Коэффициент общей плодовитости	60,0	64,9	69,9	72,0	77,0	87,2	72,2	67,5
Нетто-коэффициент воспроизводства	1,12	1,27	1,46	1,68	2,03	2,28	1,97	1,76
Истинный коэффициент ЕП	4,38	9,47	14,98	20,59	28,39	32,95	26,57	21,65
Длина женского поколения	25,5	25,3	25,3	25,1	25,0	25,1	25,6	26,2
Коэффициент депопуляции	1,98	1,78	1,68	1,66	1,57	1,54	1,75	1,91

Аналогичной динамикой характеризуется специальный и суммарный коэффициент рождаемости. Специальной коэффициент рождаемости (коэффициент общей плодовитости) городского и сельского населения увеличивался до 2016 г., одновременно возрастала относительная разница между ними – если в 2011 году величина данного показателя для сельского населения превышала в 1,4 раза его величину для городского, то в 2016 г. – уже в 1,8 раза. После 2016 г. он заметно снизился и в 2018 г. для городского населения опустился ниже уровня 2011 г. Суммарный коэффициент рождаемости (СКР) (рисунок 1) увеличился в 2016 г. по сравнению с 2011 г. на 18 % для городского населения и на 104 % – для сельского. В 2018 г. для городского населения он опустился немного ниже уровня 2011 г., для сельского тоже сильно сократился, но все еще остался выше уровня 2011 г. на 57 %.



городское: 1 – фактический; 2 – обеспечивающий нулевой ЕП;
сельское: 3 – фактический; 4 – обеспечивающий нулевой ЕП

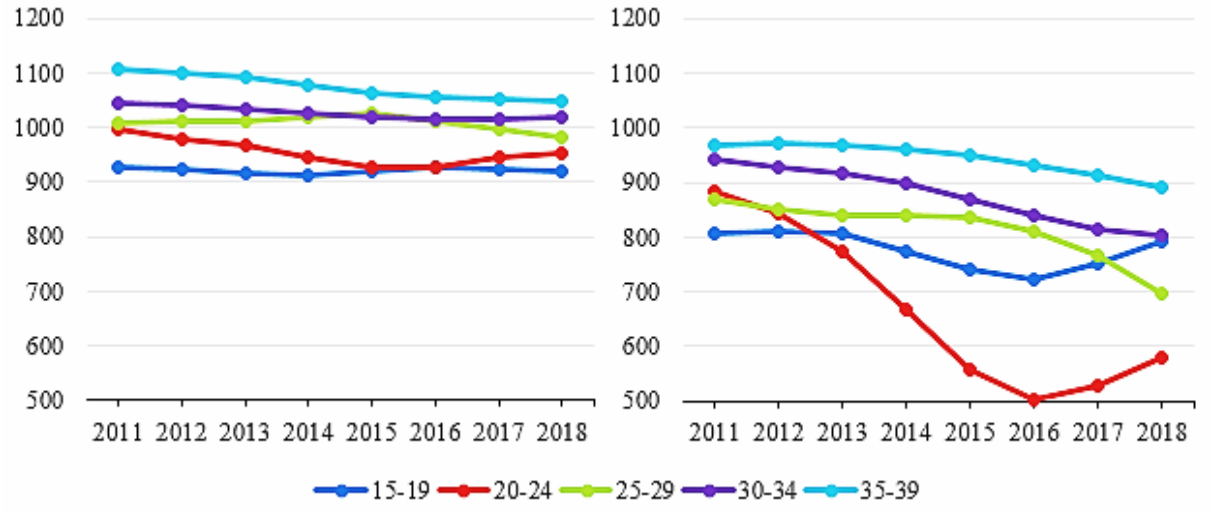
Рисунок 1. – Суммарный коэффициент рождаемости городского и сельского населения

Если рассматривать разницу между фактическим СКР и СКР, обеспечивающим нулевой естественный прирост (ЕП) (последний показатель рассчитывается путем деления общего коэффициента смертности на общий коэффициент рождаемости и умножения полученного значения на фактический СКР [2]), то для городского населения в 2011 г. фактический СКР был незначительно меньше СКР (на 0,05), обеспечивающего нулевой естественный прирост, уже в 2012 г. он стал больше него, а в 2016 г. превыше-

ние составило 0,27. Затем наблюдается резкое сокращение разницы, и в 2018 г. фактический СКР вновь стал несколько меньше (на 0,10). Для сельского населения в начале рассматриваемого периода разница была 2,0, она незначительно сократилась к 2013 г., но затем вновь стала расти, особенно резко с 2017 г., и в 2018 г. составляла уже 5,2. Относительную величину дефицита рождаемости отражает коэффициент депопуляции, не опускавшийся в сельской местности ниже 1,5, а в 2018 г. он хоть и немного не достиг значения 2011 г., но увеличился всего за два года на 0,4.

Расчет показателей воспроизводства женского населения, не зависящих ни от возрастной структуры, ни от показателей смертности в пострепродуктивном возрасте (нетто-коэффициента воспроизводства населения и истинного коэффициента естественного прироста), показал, что эти показатели увеличивались в 2011–2016 гг. как для городского, так и для сельского населения, однако для городского они так и не достигли уровня простого воспроизводства женского поколения, соответственно, истинный естественный прирост был всегда отрицательным, а в 2018 г., эти коэффициенты, как и ряд других ранее рассмотренных важных показателей, опустились ниже уровня 2011 г.

Для сельского населения истинный прирост был всегда положительный и до 2016 г. увеличивался очень большими темпами – к этому году нетто-коэффициент воспроизводства вырос в 2 раза, а истинный коэффициент ЕП – в 7,5 раза. В 2017–2018 гг. они стали снижаться, но не столь резко, как другие показатели, и в 2018 г. продолжали оставаться выше уровня 2014 г. Такие высокие значения коэффициентов воспроизводства можно объяснить гигантскими темпами оттока женского населения наиболее активных репродуктивных возрастов из сельской местности (рисунок 2). Во всех возрастных группах число женщин на 1 000 мужчин в течение всего рассматриваемого периода было менее 1 000. Особенно резко снижалось это значение для возрастной группы 20–24 года: в 2016 г. оно составило всего 504, снизившись по сравнению с 2011 г. (всего за пять лет) на 379. В других возрастных группах число женщин также существенно меньше числа мужчин и имеет тенденцию к дальнейшему сокращению. Следует учитывать, что резкое снижение числа женщин на 1 000 мужчин в репродуктивных возрастах происходит на фоне постоянного снижения доли населения самих этих возрастов среди всего населения. Так, в сельской местности доля населения в возрасте 15–35 лет снизилась с 10,2 % в 2011 г. до 6,8 % в 2018 г.



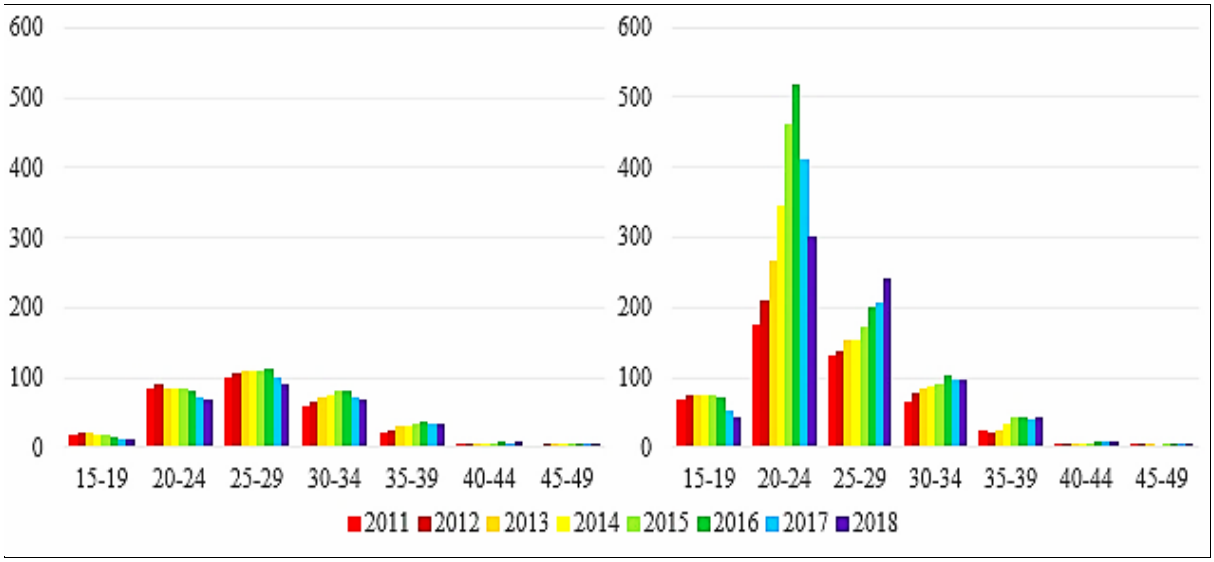
а *б*

Рисунок 2. – Число женщин на 1 000 мужчин в возрастных группах репродуктивного возраста для городского (*а*) и сельского (*б*) населения

Отток женского населения значительно меньше охватывает замужних и имеющих детей женщин, которые обладают существенно меньшей миграционной мобильностью и в основном остаются в сельской местности, связывая с ней свое будущее. Кроме того, в сельской местности регионов с наименее благоприятной социально-экономической ситуацией и низкими доходами значительного числа населения государственные выплаты при рождении детей сопоставимы с потенциальной заработной платой, а при большом их количестве – могут превышать ее. Таким образом, не имеющие детей женщины стремятся выехать из сельской местности, а значительная часть уже имеющих детей стремится к рождению последующих. Эти два фактора обуславливают и очень высокие значения коэффициентов воспроизводства для сельского населения.

Этот тезис можно подтвердить с помощью анализа возрастной структуры рождаемости и ее динамики (рисунок 3). Колебания возрастного коэффициента рождаемости (ВКР) городского населения невелики. Из основных характерных особенностей можно отметить постепенное снижение его значения в младших группах (15–19 и 20–24 года), рост коэффициента до 2016 г. включительно для групп 25–29, 30–34 и 35–39 лет, а затем снижение, масштаб которого значительно уменьшается с увеличением возраста женщин. Для старших возрастных групп происходит небольшое, но стабильное повышение показателя возрастной рождаемости. Для сельского населения относительные и абсолютные колебания рассматриваемого показателя многократно выше. Если для самой младшей возрастной группы закономерности его изменения в целом сходны с динамикой для городского населения (лишь абсолютные значения в 4–5 раз выше), то для последующих групп видны существенные различия.

Для группы 20–24 года ВКР, имевший в 2011 г. значение 175,6, т. е. в 2,1 раза больше значения для городского населения, к 2016 г. увеличился в 2,9 раза, достигнув значения 517,4 (в 6,4 раза больше городского). В 2017–2018 гг. произошло заметное его снижение на 217,1 – до 300,3 (в 4,4 раза больше городского). В последующих возрастных группах с 2011 до 2018 г. происходило в основном увеличение показателя ВКР – в группе 25–29 лет в 1,9 раза, 30–34 года в 1,5 раза и т. д.



а *б*

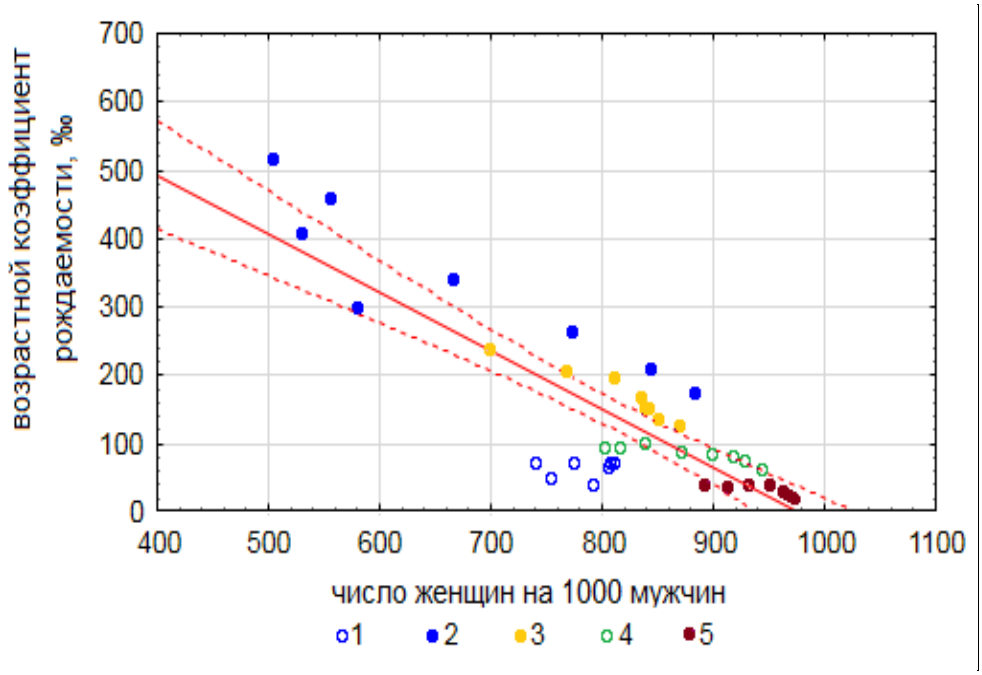
Рисунок 3. – Динамика возрастных коэффициентов рождаемости городского (*а*) и сельского (*б*) населения

Расчет линейного коэффициента корреляции и регрессионный анализ показали тесную отрицательную связь между возрастными коэффициентами рождаемости и числом женщин на 1 000 мужчин в соответствующих возрастных группах (таблица 3). Исключением является возрастная группа 15–19 лет, где такая связь не установлена. Очень высокий коэффициент линейной корреляции наблюдается для возрастов от 20 до 29 лет, далее он несколько снижается, но всё равно остается высоким.

Таблица 3. – Коэффициенты корреляции и уравнения регрессии между возрастными коэффициентами рождаемости сельского населения (y) и числом женщин на 1 000 мужчин в соответствующих возрастных группах (x)

Возрастная группа	Коэффициент Пирсона	Величина погрешности	Уравнение регрессии
15–39	–0,84	$p < 0.001$	$y = 835{,}68 – 0{,}86 \cdot x$
20–39	–0,95	$p < 0.001$	$y = 937{,}20 – 0{,}95 \cdot x$
20–24	–0,92	$p < 0.01$	$y = 830{,}39 – 0{,}74 \cdot x$
25–29	–0,95	$p < 0.001$	$y = 703{,}37 – 0{,}65 \cdot x$
30–34	–0,89	$p < 0.01$	$y = 272{,}14 – 0{,}21 \cdot x$
35–39	–0,79	$p < 0.05$	$y = 264{,}02 – 0{,}25 \cdot x$

Графически связь между данными величинами показана на рисунке 4.

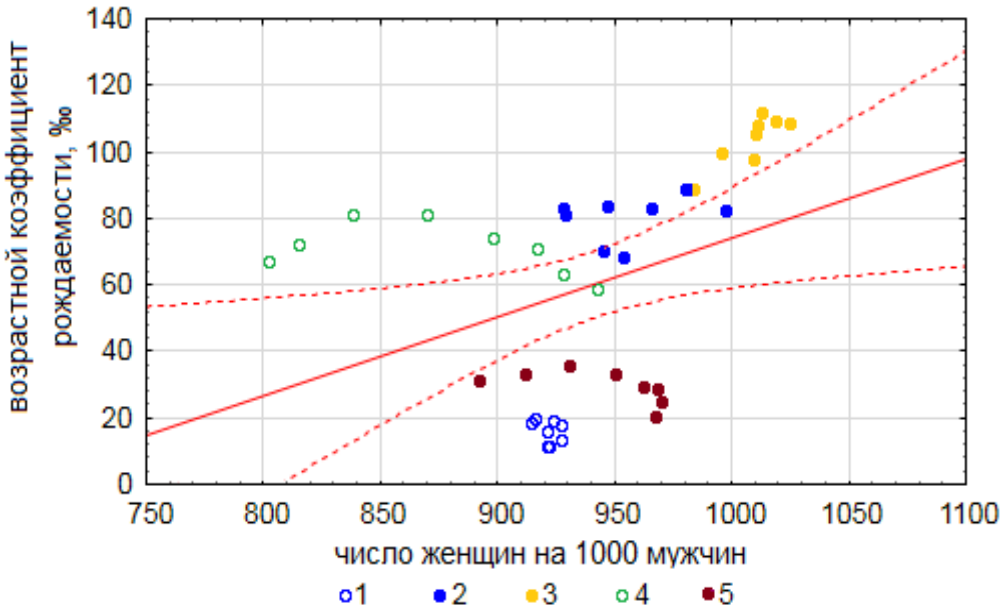


возрастные группы: 1 – 15–19 лет; 2 – 20–24 года; 3 – 25–29 лет; 4 – 30–34 года; 5 – 35–39 лет

Рисунок 4. – Связь между возрастными коэффициентами рождаемости сельского населения и числом женщин на 1 000 мужчин в соответствующих возрастных группах

Для городского населения связь между рассматриваемыми показателями достоверно установлена лишь для возрастной группы 25–29 лет. В отличие от сельского населения она положительна, коэффициент корреляции Пирсона равен +0,87, $p < 0.01$; уравнение регрессии $y = –415{,}5 + 0{,}51 \cdot x$. Если включить в расчет данные по всем наиболее активным репродуктивным возрастам (15–39 лет), зависимость также стати-

стически достоверна, но значительно слабее – r = +0,37, p < 0.05; уравнение регрессии y = –164,5 + 0,51 · x (рисунок 5).



возрастные группы: 1 – 15–19 лет; 2 – 20–24 года; 3 – 25–29 лет; 4 – 30–34 года; 5 – 35–39 лет

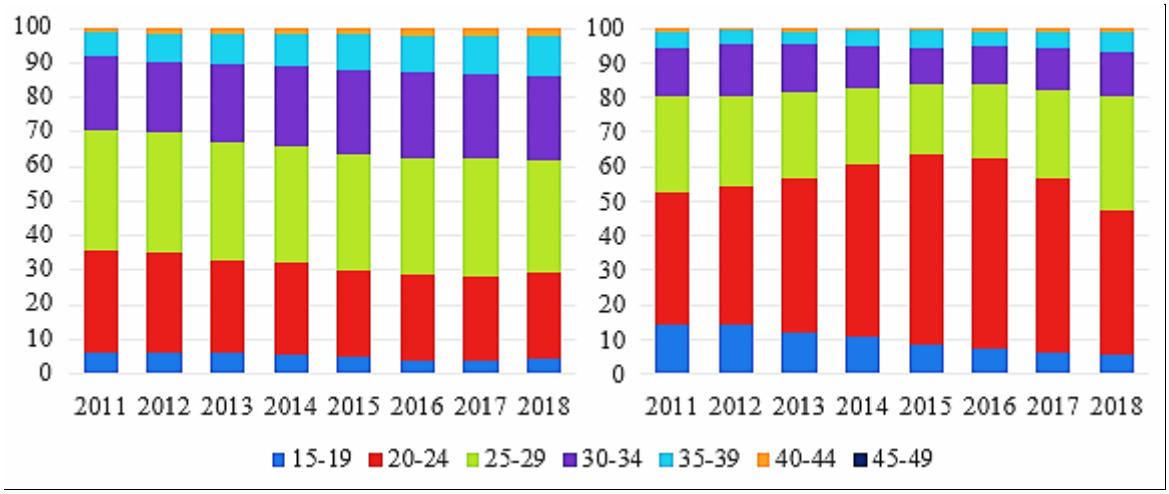
Рисунок 5. – Связь между возрастными коэффициентами рождаемости городского населения и числом женщин на 1 000 мужчин в соответствующих возрастных группах

Заметные изменения за рассматриваемый период произошли в распределении рождений на всем репродуктивном периоде женщин (таблица 4, рисунок 6). Для городского населения эти изменения выразились главным образом в сокращении доли в общей рождаемости женщинами младших репродуктивных возрастов 15–19 (на 34 %) и 20–24 года (на 15 %) и увеличением этой доли женщинами старше 30 лет: для возраста 30–34 года – на 16 %, 35–39 лет – на 57 %, 40–44 года – на 82 %. Стабильная доля рождений сохранилась только для возраста 25–29 лет.

Таким образом, для городского населения наблюдается стабильный отчетливый сдвиг рождений к более старым возрастам и откладывание рождений: если в 2011 г. к возрасту 25 лет у женщин родилось 35,8 % детей, то в 2018 г. – 29,2 %, т. е. на 6,6 % меньше, а к возрасту 30 лет на 9,0 % меньше и т. д. (таблица 4).

Таблица 4. – Кумулята доли суммарной рождаемости, приходящейся на определенный возраст, %

возраст, лет	Городское население								Сельское население							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
20	6,4	6,2	6,2	5,8	4,8	4,1	4,0	4,2	14,3	14,2	12,1	10,7	8,6	7,5	6,4	5,7
25	35,8	35,2	32,6	32,0	30,1	28,7	28,1	29,2	52,5	54,3	56,3	60,4	63,5	62,6	56,8	47,1
30	70,7	69,6	66,9	66,1	63,4	62,6	62,1	61,7	80,5	80,7	81,5	82,4	83,8	83,7	82,3	80,1
35	91,7	90,3	89,4	89,2	88,2	87,3	86,6	86,1	94,1	95,4	95,2	94,7	94,4	94,6	94,2	93,4
40	98,9	98,4	98,6	98,4	98,3	98,1	97,9	97,6	99,1	99,4	99,1	99,2	99,2	99,1	98,9	99,1



а *б*

Рисунок 6. – Доля суммарной рождаемости, приходящаяся на определенный возраст для городского (*а*) и сельского (*б*) населения, %

Для сельского населения доля рождений в самой младшей репродуктивной возрастной группе стабильно снижалась и в 2018 г. стала в 2,5 раза ниже, чем в 2011 г. При этом если в 2011 г. доля рождений в этой группе для сельского населения в 2,2 раза превышала долю для городского, то в 2018 г. – только в 1,4 раза.

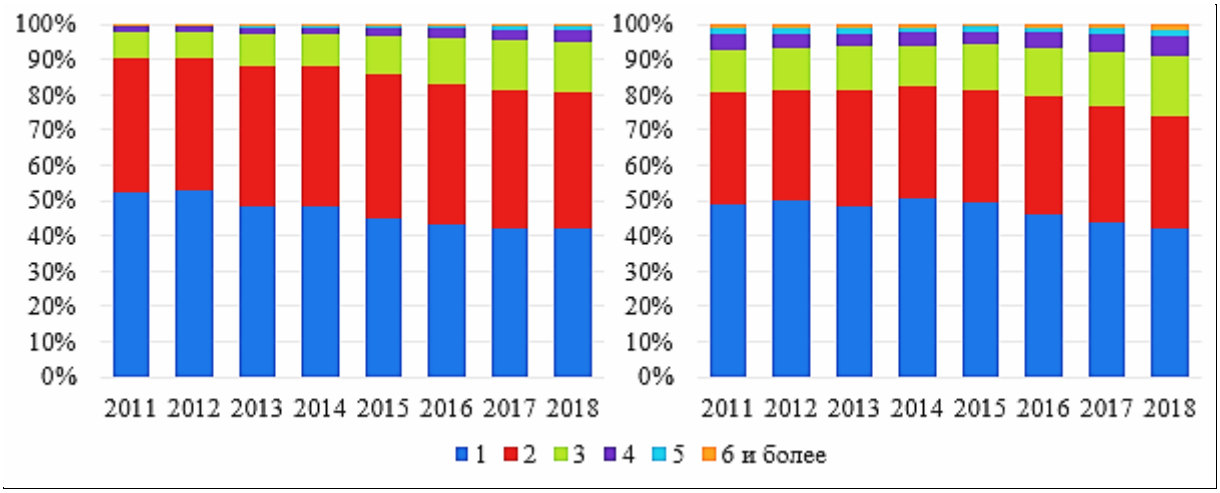
В следующей возрастной группе 20–24 г. наблюдался существенный рост доли суммарной рождаемости, которая в 2016 г. повысилась на 44 % относительно уровня 2011 г. Затем она стала снижаться и в 2018 г. стала ниже уровня 2011 г. Обратной тенденцией характеризуются последующие возрастные группы – постепенное сокращение их доли в суммарной рождаемости до 2016 г. и последующий рост, в результате которого они достигли уровня 2011 г. или даже превысили его.

Таким образом, возрастная модель рождаемости сельского населения характеризовалась нестабильностью динамики. Вклад рождений у женщин моложе 25 лет сперва повышался с 53 до 63 % в 2015–2016 гг., а затем резко снизился до 47 %. Такая же траектория изменений (но в значительно меньших масштабах) характерна и для показателя доли с суммарной рождаемости женщин моложе 30 лет (таблица 4).

Сравнивая по данным критериям городское и сельское население, необходимо отметить существенную и в основном растущую разницу между вкладом в суммарную рождаемость женщин моложе 25, 30, 35 лет в городе и сельской местности. Для женщин моложе 25 лет разница между вкладом в суммарную рождаемость городского и сельского населения составила в 2011 г. 16,7 %, затем она увеличивалась до 2016 г., когда достигла 33,9 %, а в последующие два года сократилась до 17,9 %. Для женщин моложе 30 лет эта разница возросла с 9,8 до 18,4 %, а для женщин моложе 35 лет – с 2,4 до 7,3 %. Лишь величина разницы между вкладом в суммарную рождаемость городского и сельского населения женщинами моложе 20 лет сократилась в 5,3 раза – с 7,9 до 1,5 %.

Еще одним показателем, характеризующим особенности воспроизводства населения, является соотношение рождений определенной очередности. На рисунке 7 показан вклад в суммарную рождаемость рождений определенной очередности. В 2011 г. более половины рождений для городского населения и чуть меньше половины для сельского приходилось на первого ребенка, к 2018 г. этот показатель снизился для обеих категорий до 42 %. Доля рождений, приходящаяся на второго ребенка, лишь незначительно колебалась, не претерпев существенных изменений (оставаясь для городского

населения на 6–7 % выше, чем для сельского). Доля же третьих и четвертых детей в общей рождаемости как для городского, так и для сельского населения росла (при этом доля для сельского населения постоянно превышает долю для городского). Интересно, что для городского населения доля четвертых и пятых детей с 2011 по 2018 г. возросла в 2,3 раза.



а *б*

Рисунок 7. – Доля суммарной рождаемости, приходящаяся на определенную очередность рождений для городского (*а*) и сельского (*б*) населения, %

В таблице 5 показаны значения суммарных коэффициентов рождаемости, рассчитанные отдельно для каждой очередности рождения. В целом СКР для вторых и последующих рождений как для городского, так и для сельского населения стабильно повышался до 2016 г., а в 2017–2018 гг. несколько сократился. Особенно сильно увеличилось значение СКР для третьего ребенка в сельской местности: в 2018 г. оно увеличилось в 2,3 раза по сравнению с 2011 г.

Таблица 5. – СКР для каждой очередности рождения, средняя очередность рождений (COP) и величина превышения итогового СКР над COP (DIF)

Очередность рождений	Городское население								Сельское население							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	0,74	0,80	0,76	0,77	0,73	0,71	0,62	0,58	1,13	1,31	1,46	1,75	2,06	2,16	1,77	1,52
2	0,53	0,57	0,63	0,63	0,67	0,66	0,58	0,53	0,74	0,83	0,99	1,09	1,34	1,57	1,35	1,16
3	0,11	0,12	0,15	0,15	0,18	0,22	0,20	0,19	0,27	0,31	0,37	0,40	0,54	0,65	0,62	0,62
4	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,11	0,13	0,16	0,20	0,20	0,19
5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04	0,05	0,04	0,06	0,07	0,08	0,07
6+	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05
COP	1,60	1,61	1,67	1,67	1,75	1,80	1,83	1,84	1,81	1,78	1,80	1,76	1,79	1,84	1,91	1,98
DIF	–0,2	–0,08	–0,1	–0,07	–0,11	–0,15	–0,36	–0,47	0,49	0,83	1,21	1,69	2,4	2,86	2,14	1,64

Здесь же представлено значение интегрального показателя – средней очередности рождений (COP, рассчитывается как средняя арифметическая взвешенная, где в качестве весов взяты коэффициенты суммарной рождаемости для каждой очередности). Для реального поколения величины СКР и COP равны, так как фактически представляют собой одну и ту же величину – среднее число детей, рожденных одной женщиной к концу репродуктивного периода [3]. Однако при расчете данных показателей для условного поколения между ними могут наблюдаться расхождения, связанные с изме-

нением календаря рождений, причем чем значительнее меняются средние темпы формирования семьи, тем больше расхождения между СКР и СОР [3]. Так, при ускорении темпов рождаемости (смещении времени рождений в сторону более молодого возраста) показатель СКР оказывается завышенным и превышает (иногда значительно) среднюю очередность рождений. Если наблюдается тенденция откладывания рождений на более поздний возраст, т. е. трансформации возрастной модели рождаемости в сторону постарения, то СКР может быть заниженным и его значение может быть ниже, чем у СОР. Таким образом, СОР как статистический индикатор уровня рождаемости выступает в качестве неплохого предиктора величины итоговой рождаемости реальных поколений [4] и считается одной из наилучших альтернатив традиционному коэффициенту суммарной рождаемости [3]. Последний критикуется в том числе за то, что он часто создает иллюзию, что семейная политика, которая лишь приводит к уменьшению интервала между рождениями, на самом деле приносит повышение уровня рождаемости [5].

Как видно из таблицы, данный показатель растет как для городского, так и для сельского населения, растет также величина его расхождения с СКР. При этом если для городского населения значение СОР превышает СКР, то для сельского наоборот.

Расчет вероятности рождения последующих детей (таблица 6, представляет собой отношение СКР детей определенной очередности к СКР детей предыдущей очередности) показал стабильно увеличение вероятности рождений вторых и третьих детей как для городского, так и для сельского населения (максимальный рост – для третьих детей у сельского населения), а в городах еще и четвертого.

Таблица 6. – Вероятность рождения последующего ребенка, %

Очередность рождений	Городское население								Сельское население							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
2	71,5	71,3	82,5	82,0	91,5	93,1	94,3	91,9	65,2	63,2	67,6	62,6	64,9	72,9	76,6	76,5
3	20,3	20,4	23,5	23,4	27,0	32,7	34,6	36,6	36,9	37,2	37,4	36,6	40,8	41,2	45,9	53,6
4	18,0	20,0	18,8	20,2	21,0	21,4	24,3	24,2	36,9	33,7	30,4	33,2	28,5	31,4	32,0	31,3
5	26,4	35,5	25,9	30,9	30,7	25,0	27,5	28,9	45,4	41,2	48,9	30,7	39,0	36,4	38,3	36,8
6+	74,2	44,3	63,5	42,9	54,6	66,4	49,2	62,2	50,5	60,5	42,1	83,0	50,6	50,3	50,9	75,1

В совокупности с другими ранее рассмотренными показателями это может быть интерпретировано как стремление матерей, уже имеющих детей, к повторным рождениям, а еще не имеющих – к откладыванию рождений на более поздний возраст.

Заключение

1. Демографическая ситуация в 2011–2016 гг. постепенно улучшалась в основном за счет увеличения количества рождений, затем в 2017–2018 гг. происходит резкое ее ухудшение, причем для городского населения большинство важных показателей опустилось ниже уровня 2011 г., а для сельского пока не достигло этого уровня.

2. Показатели, характеризующие наличие демографических ресурсов (число женщин детородного возраста, их доля в общей численности женщин), постоянно снижались, что приводило к все большему нивелированию эффекта от увеличения рождаемости, этот процесс будет происходить и постоянно усиливаться в будущем даже если реализация государственной политики повышения рождаемости будет успешной. В сочетании же с все большим ухудшением показателей воспроизводства, наблюдаемым в последние годы, это может очень быстро привести к наиболее масштабному демографическому кризису за весь послевоенный период.

3. Установлена достоверная связь между числом женщин на 1 000 мужчин в возрастной группе и возрастным коэффициентом рождаемости для этой группы. Наиболее

тесно эта связь проявляется для сельского населения (за исключением самой молодой репродуктивной группы), для которого корреляция отрицательна. Для городского населения эта связь достоверно установлена лишь для возрастной группы 25–29 лет, при этом корреляция положительна.

4. Для городского населения наблюдается стабильный отчетливый сдвиг рождений к более старым возрастам и откладывание рождений; для сельского населения, наряду с устойчивым сокращением доли рождений в самой младшей репродуктивной возрастной группе, до 2015 г. доля рождаемости в возрасте 20–24 года заметно росла, а в более старших возрастах сокращалась, после 2015 г. тенденция сменилась на противоположную.

5. Наблюдается постепенное сокращение доли первых по очередности детей в общем количестве рождений и увеличение доли третьих и последующих детей. Доля вторых детей больше среди городского населения, третьих и последующих – для сельского. Средняя очередность рождений возросла за рассматриваемый период с 1,6 до 1,84 для городского населения и с 1,81 до 1,98 – для сельского. Отмечено увеличение вероятности рождений вторых и третьих детей как для городского, так и для сельского населения (максимальный рост – для третьих детей у сельского населения), а в городах еще и четвертого.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Привалова, Н. Н. Демографическая ситуация в республике Беларусь: тенденции и проблемы / Н. Н. Привалова // Этнодемографические процессы в Казахстане и сопредельных территориях : сб. науч. тр. X Междунар. науч.-практ. конф., Усть-Каменогорск, 15–16 мая 2009 г. – Усть-Каменогорск : Либриус, 2009. – С. 299–306.

2. Практическая демография / В. Н. Архангельский [и др.] ; под ред. Л. Л. Рыбаковского. – М. : ЦСП, 2005. – 280 с.

3. Население России 2013 : XXI ежегод. демогр. докл. / отв. ред. С. В. Захаров. – М. : Изд. дом ВШЭ, 2013. – 428 с.

4. Захаров, С. В. Скромные результаты пронаталистской политики на фоне долговременной эволюции рождаемости в России. Часть 1 / С. В. Захаров // Демогр. обозрение. – 2016. – Т. 3, № 3. – С. 6–38.

5. Соботка, Т. Коэффициент суммарной рождаемости дает политикам дезориентирующие сигналы: не следует ли отказаться от использования этого показателя? / Т. Соботка, В. Лутц // Экон. журн. ВШЭ. – 2011. – № 4. – С. 444–471.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 13.02.2020

УДК 338.48-53:556.55(476.2-21Гомель)

М. С. Томаш
ст. преподаватель каф. геологии и географии
Гомельского государственного университета имени Франциска Скорины
e-mail: tmarinka@mail.ru

РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ЛИМНОСИСТЕМ Г. ГОМЕЛЯ

Анализируются проблемы использования малых водоемов урбанизированной территории на примере г. Гомеля. Проведена оценка степени использования озер города в целях рекреации, а также для определения целесообразности развития различных видов туризма и отдыха на их территории. Рассчитана допустимая рекреационная нагрузка на малые водоемы областного центра.

TOMASH M. S.
RECREATIONAL POTENTIAL OF GOMEL'S LIMNOSYSTEMS

In the article the object of study were small reservoirs of lake type and different genesis of the city Gomel. The study is to assess the degree of use of lakes in the city for recreation, as well as to determine the feasibility of developing various types of tourism and recreation on water bodies. The recreational assessment of the use of the water area of the city of Gomel in bathing and beach recreation, SWOT-analysis of the prospects for the development of bathing and beach tourism, as well as calculated the allowable recreational load on small water bodies of the regional center.

Введение

Областной центр – город Гомель – имеет уникальную для Беларуси аквальную геосистему: русло реки Сож в районе города протяженностью более 15 км, при этом достаточно сильно меандрирует, образуя тем самым каскад крупных озер с ровными песчаными берегами. В связи с этим в городе издавна функционирует сеть пляжей с соответствующей инфраструктурой (раздевалки, туалеты, пункты спасения и оказания первой медицинской помощи), возможностью быстрого доступа к ней из любого района города. Крупные города Беларуси имеют схожие физико-географические и гидрологические условия, однако купально-пляжный отдых организован в основном на периферии города, а не на озерах и реках в центре.

Материалы и методы

Анализ характеристик отдельных озер показывает, что многие из них имеют ряд особенностей.

Озеро Володькино находится в восточной части Гомеля (Центральный р-н) и имеет нестандартные характеристики: через него протекает р. Сож, и в его юго-восточной части находится устье р. Ипуть. На западном берегу имеется пляж, а территория относится к парку Гомельского дворцово-паркового ансамбля. Озеро очень богато рыбой, на нем проводится ежегодное состязание рыбаков Гомельской области. В южной части оз. Володькино находится туристический комплекс «Дом Рыбака».

Озеро Обкомовское – пойменное озеро, находящееся к северу от озера Володькино по правому берегу р. Сож. Оно является частью Волотовской протоки. На северном берегу Обкомовского озера размещен Гомельский яхт-клуб и причал станции МЧС. Купание в озере запрещено.

Озеро Дедно – старичное озеро в 450 м. к северу от озера Обкомовское. Используется для сброса ливневых канализаций центральной части Гомеля. Не предназначено для проведения досуга и не благоустроено. Берега заросшие. На картах, относящихся к XVIII в., озеро имеет название Жерлодедно и связано с основным руслом р. Сож протокой. Позже озеро превратилось в старицу. В связи с почти отсутствующей антропо-

генной нагрузкой вокруг Дедно сформировалась инвазия растений, совершенно нетипичных для городских территорий (рисунок 1) [1].

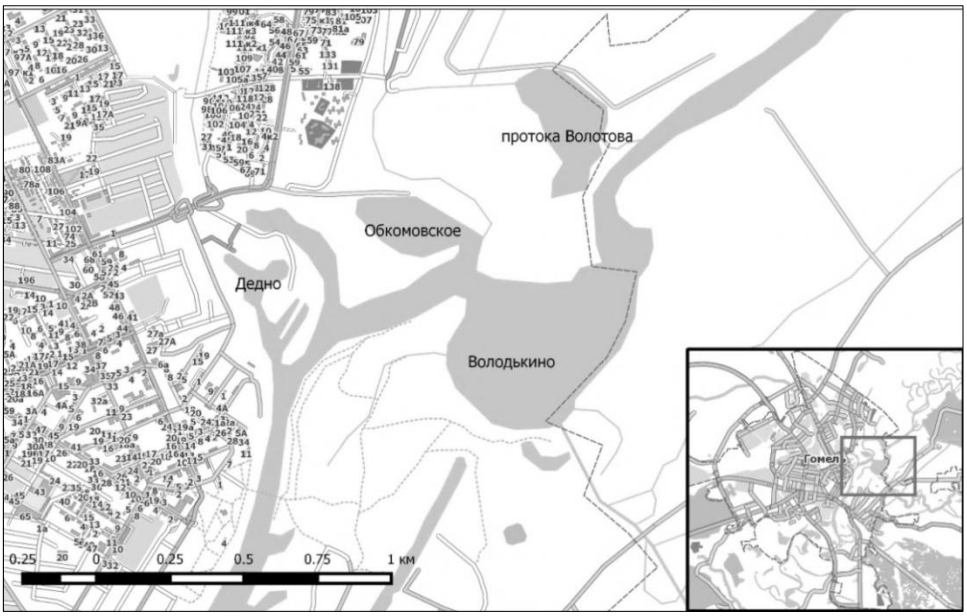


Рисунок 1. – Водоемы Центрального района

Озеро Бобруха – малое ложбинное озеро в Центральном районе Гомеля. Расположено к северу от ул. Головацкого. В XX и начале XXI в. оно являлось излюбленным местом для отдыха местных жителей. В настоящее время активно заболачивается.

Озеро Любенское находится в полукилометре от Роповского озера, в южной части Гомеля, в Советском районе. Является озером пойменного типа и расположено в правой пойменной зоне р. Сож. По форме озеро напоминает дугу, в прошлом, вероятно, оно являлось частью основного русла Сожа. С нынешним руслом Любенское связано небольшой протокой в восточной части. Первые жилища стали появляться там во второй половине XVIII в. На Любенском озере ежегодно празднуется Купалье.

Озеро Роповское – озеро пойменного типа, связано с р. Сож двумя протоками. Название озера произошло от аббревиатуры РОП (районный отстойник плавсредств). В акватории озера расположены лодочная станция, гребная база и два пляжа с соответствующей инфраструктурой (рисунок 2).

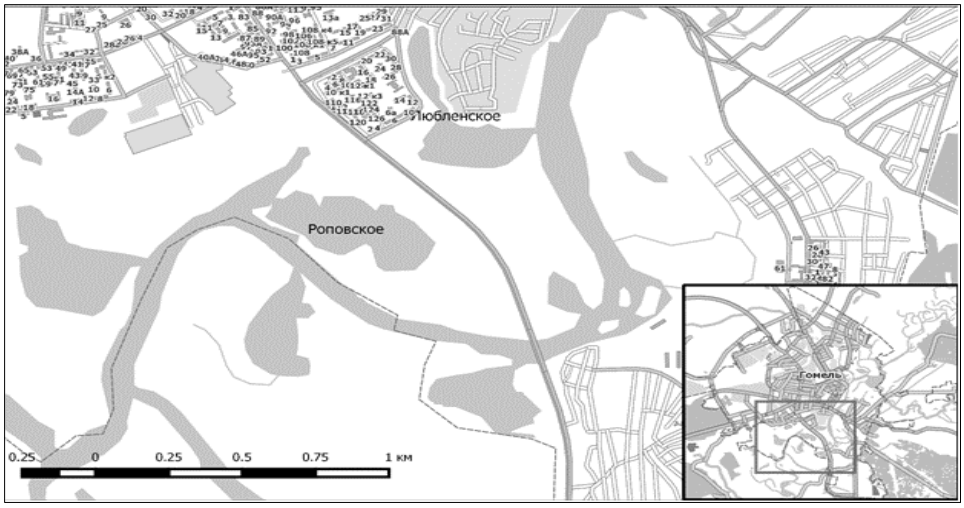


Рисунок 2. – Водоемы Новобелицкого и Советского районов

Озеро в микрорайоне Шведская Горка – крупное пойменное озеро на юго-западной окраине Гомеля. С р. Сож соединено небольшой протокой в восточной части. В настоящее время искусственно расширяется и благоустраивается в связи со строительством крупного микрорайона «Шведская горка». Уже используется в рекреационных целях. В перспективе может стать частью более крупного искусственного озера, т. к. именно в этом месте в настоящее время изымается песок для строительных нужд Гомеля [1].

Каскад озер «Волотовские» – группа озер старичного происхождения в Железнодорожном районе Гомеля. Окрестности этих озер словно самой природой предназначены стать излюбленным местом отдыха местных жителей. Близкое расположение к жилым домам делает озера популярными для отдыха как в летнее, так и в зимнее время. В каскаде три малых озера, на двух из которых есть благоустроенные пляжи. Территория вокруг озер благоустроена (рисунок 3).

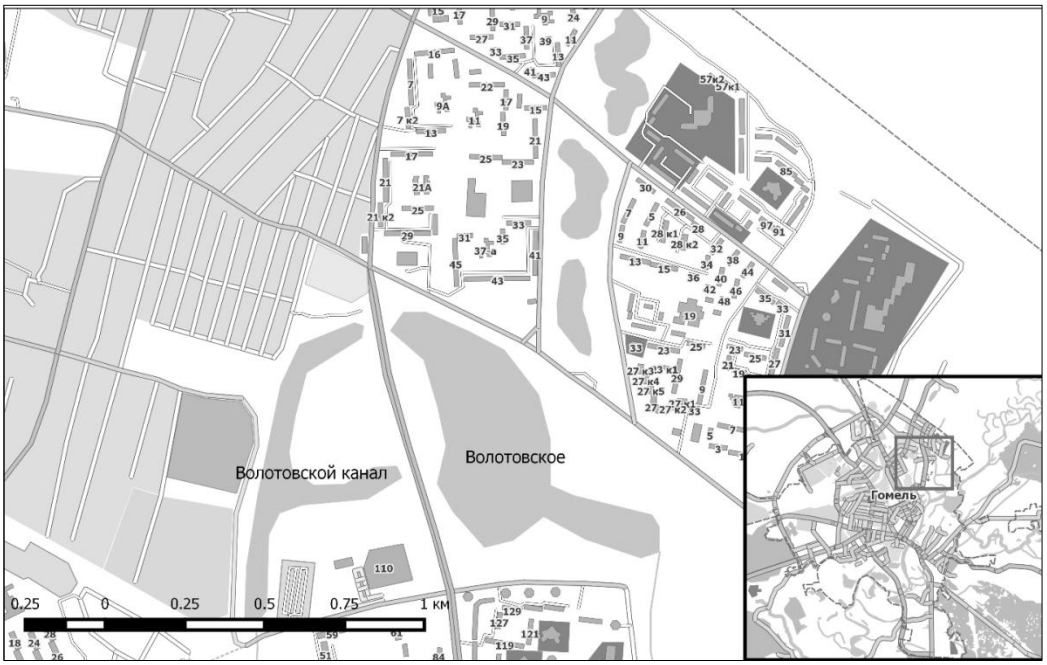


Рисунок 3. – Каскад Волотовских озер

Озеро Шапор – пойменное озеро на левом берегу р. Сож в восточной части Гомеля в Новобелицком районе. Связано с руслом реки Новобелицким каналом. Состояние воды в Шапоре не контролируется, с близлежащих предприятий в него попадают ливневые стоки. Следовательно, озеро не предназначено для купания и активного отдыха. Однако в месте впадения Новобелицкого канала в Сож расположен пляж с соответствующей инфраструктурой.

Озеро Белицкое – озеро, вероятно, остаточного происхождения в восточной части Гомеля в Новобелицком районе. Имеет благоустроенную территорию и является частью Белицкого парка. К северу от озера построена церковь Александра Невского [1].

Каскад озер «17-й карьер» – группа искусственных озер в Железнодорожном районе Гомеля, в его западной части. Созданы на месте выработанного карьера по добыче строительного песка. Каскад включает в себя три небольших водоема. Территория благоустроена, на одном из озер создан пляж и инфраструктура к нему (рисунок 4).

Озеро «9-й карьер» – небольшой водоем искусственного происхождения в Железнодорожном районе Гомеля, к востоку от каскада «17-й карьер». На западном берегу построена Серафимовская церковь, имеется небольшой пляж. Территория благоустроена.

Озеро Сетен – водоем к востоку от Гомеля в населенном пункте Поколюбичи. Вероятно, в прошлом являлось частью Волотовских озер. Озеро активно используется местными рыбаками. Перспективно для строительства агроусадьбы в северной части.

Озеро Бурое болото (Волотовской канал) – вытянутое озеро в форме рогатки к западу от Волотовского каскада озер в Железнодорожном районе Гомеля. Используется горожанами для отдыха.

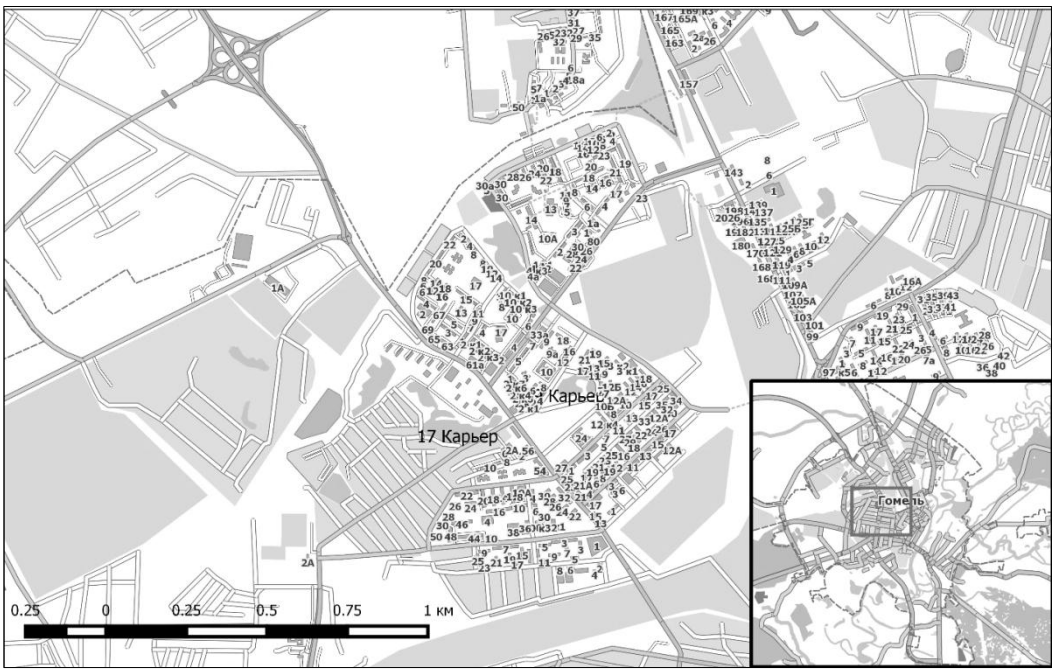


Рисунок 4. – Каскад Сельмашевских и Брилевских озер

Озеро Волотовское – самое крупное озеро Волотовского каскада озер в Гомеле. Расположено оно между Бурым болотом и каскадом малых озер. Раньше весь Волотовской каскад был частью озера Волотово в деревне с одноименным названием. В настоящее время территория озера благоустроена и активно используется. Озеро богато рыбой, на его территории неоднократно проходили соревнования по водно-моторному спорту.

Приведенная характеристика водоемов Гомеля свидетельствует о преобладании в городе пойменных и искусственно созданных озер. Большинство водоемов имеют овальную форму. Они благоустроены, часть уже используется в туристской индустрии, купально-пляжном отдыхе, рыболовстве или имеют эстетическое назначение. Рекреационное использование водоемов в других районах области осуществляется лишь на местном уровне населением, проживающим непосредственно вблизи этих озер.

Результаты исследований

На сегодня отсутствуют комплексные подходы оценки природных ресурсов озер и направлений их хозяйственного использования, однако они имеют одно из приоритетных значений для решения социально-экономических проблем, определяющих специфические демографические, этнографические и особенно экологические и средозащитные функции. Местная рекреационная система формируется для удовлетворения потребностей населения в отдыхе вблизи мест проживания на базе водохранилищ и озер, благоприятных для организации отдыха.

Озера г. Гомеля по своим параметрам относятся к малым и очень малым (площадь 1–10 и 0,1–1 км^2); их изученность вследствие многочисленности и разнообразия характеристик пока недостаточна [2].

Основными морфометрическими характеристиками для определения направлений рекреационного использования озер является их площадь, длина и ширина. По пространственным параметрам адекватными по величине для создания экологически комфортной средой для отдыха являются озера до 1 км^2, наилучшие условия для организации массовых видов рекреационной деятельности формируются на озерах площадью 1–5 км^2 (таблица 1).

Таблица 1. – Морфометрические характеристики водоемов г. Гомеля

Название водоема	Тип водоема	Площадь, км²	Длина, км	Ширина, км	Длина береговой линии, км
Роповское	старица	0,59	1,3	0,5	5,4
Шведская Горка	старица	0,44	1,19	0,7	2,8
Шапор	старица	0,13	1,1	0,3	2,7
Володькино	старица	1,1	1,3	1,0	4,2
Обкомовское	старица	0,3	0,8	0,4	1,9
Любенское	старица	0,37	1,24	0,45	3,6
Волотовские	искусственное	0,1	1,0	0,17	2,3
Бурое болото	искусственное	0,056	0,85	0,05	2,7

Анализ данных таблицы 1 показывает, что практически все озера, расположенные в пределах г. Гомеля соответствуют экологически допустимой рекреационной емкости, а также в той или иной степени пригодны для различных форм рекреации и туризма. Озера г. Гомеля пользуются большой популярностью у отдыхающего местного населения. Эти природные объекты обладают множеством характеристик, которые делают их уникальными и способствуют большей притягательности для населения.

Почти все озера г. Гомеля округлые по форме, с пологим песчаным дном, прозрачной водой, что делает их пригодными для семейного отдыха, имеется некоторая рекреационная инфраструктура (пляжи и отдельные элементы благоустройства) [2].

В ходе исследования была собрана информация по инфраструктуре рекреационных зон в каждом из районов г. Гомеля, в котором действует 9 официально утвержденных пляжей. В период купального сезона (с июня по август – начало сентября) еженедельно специалистами санитарно-эпидемиологической службы г. Гомеля проводится оценка санитарного состояния и благоустройства пляжей, а также оценка качества воды по показателям безопасности.

Сводные данные об инфраструктуре рекреационных зон (пляжей) по районам г. Гомеля представлены в таблице 2.

На территории города Гомеля в припойменной и пойменной зонах рек Сож и Ипуть расположено свыше 50 водных объектов – озер и прудов. Некоторые из них является техническими сооружениями для отвода сточных вод с городских улиц, а также звеньями мелиоративных каналов. Водоемы, как правило, безымянные, в большинстве случаев они возникли в результате антропогенного воздействия на окружающие ландшафты. Лишь десяток озер по происхождению являются старичными и пойменными, но вместе с тем имеется несколько остаточных водоемов на месте осушенных болот [4].

Таблица 2. – Инфраструктура зон рекреации г. Гомеля

Название места рекреации (пляж)	Инфраструктура														
	Дорожки	Туалеты	Урны для мусора	Контейнеры	Автостоянка	Раздевалки	Спортплощадки	Теневые навесы	Беседки	Лежаки	Отмостки	Душевые	Информ. стенды	Прокат лодок	Магазины
Каскад-1	+	+	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–	+	+	+
Каскад -2	+	+	+	+	–	+	–	+	+	–	–	–	+	–	–
Центральный	+	+	+	+	–	+	+	+	–	–	–	–	+	+	+
Прудковский	–	+	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–	+	–	–
Волотовской	–	+	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–	+	–	–
Новобелицкий	+	+	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	+	–	–
Западный	–	+	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–	+	–	–
Роповский	+	+	+	+	+	+	+	+	–	–	–	–	+	+	+
Любенский	+	+	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–	+	+	–

Программа расширения города вдоль р. Сож не утратила свою силу. В настоящее время в юго-западной части Гомеля (проспект Октября, д. Осовцы) на строительные нужды города (ежегодная потребность свыше 1 млн м³) изымается песок на площади свыше 100 га. Данный участок находится непосредственно в пойме р. Сож и сразу же затопляется. Таким образом, в ближайшем будущем в г. Гомеле появится новое искусственное озеро, длина которого составит 2,9 км, ширина 2,5 км, участок сопряжения с руслом р. Сож протяженностью свыше 2 км. Озеро станет самым крупным в городе.

В настоящее время в Беларуси особое внимание уделяется развитию внутреннего туризма, в частности, рекреационного, купально-пляжного и агроэкотуризма. Создание мест для отдыха, строительство агроусадеб и развитие туристической инфраструктуры приоритетно вблизи водоемов. Наличие живописного вида и чистого озера еще не означает экономической целесообразности оказания туристических услуг и создания инфраструктуры для пляжного отдыха или рыбалки. Пляжный досуг и купально-пляжный туризм в нашей стране приурочены к крупным рекам и водохранилищам и населенным пунктам вблизи них [4].

Особенности климата, длительная геологическая история, обилие заболоченных территорий и развитая речная сеть сформировали на территории г. Гомеля большое количество малых водоемов, преимущественно старичного происхождения. Озера Гомеля используются как источники водоснабжения и объекты рыболовства и рыборазведения. Нынешний облик озер г. Гомеля по большей части результат антропогенного преобразования ландшафтов.

Среди озер г. Гомеля интенсивное развитие и использование в целях рекреации и туризма получили водоемы, имеющие большие размеры и относящиеся к пойменной части р. Сож. Рекреационное использование водоемов в других районах областного центра осуществляется лишь на местном уровне населением, проживающим непосредственно вблизи этих озер.

Несмотря на большое количество озер в г. Гомеле, официальные зоны рекреации созданы лишь на некоторых водоемах. По результатам рекреационной оценки лишь некоторые озера г. Гомеля имеют туристические комплексы и пляжи. Самыми благоустроенными и привлекательными для туристов и горожан оказались такие озера

в Гомеле, как Роповское, Володькино, Любенское, а также два русловых участка р. Сож с пляжами.

Город Гомель имеет много зон рекреации на озерах, в связи с чем создаются благоприятные условия для развития купально-пляжного туризма. Однако все малые водоемы в пределах города так или иначе испытывают некую рекреационную нагрузку разной степени [5].

Оценка рекреационной нагрузки проводилась у наиболее популярных у местного населения озер г. Гомеля в летний период. При ее расчете учитывались такие критерии, как: площадь озера и прибрежной зоны (га), климатический показатель – комфортная теплая солнечная погода, число отдыхающих за рекреационный сезон и продолжительность этого сезона [3].

Общая расчетная единовременная рекреационная нагрузка по отдельным видам рекреации на водоемы областного центра представлена в таблице 3.

Таблица 3. – Рекреационная нагрузка на озера г. Гомеля, человек/га

	Роповское	Шведская горка	Шапор	Любенское	Обкомовское	Волотовские	Бурое болото	Володькино	Всего
Площадь, га	59	44	13	37	30	10	5	110	
Общая нагрузка	8 260	6 160	1 820	5 180	4 200	1 400	700	15 400	43 120
в том числе									
на пляжах и воде	7 434	5 544	1 638	4 662	3 780	1 260	630	13 860	38 808
на судах и водных лыжах	531	396	117	333	270	90	45	990	2 772
рыбалка и прогулки	295	220	65	185	150	50	25	550	1 540
принятие солнечных ванн	73 750	55 000	16 250	46 250	37 500	12 500	6 250	137 500	411 250
акватория в зоне купания	38 350	28 600	8 450	24 050	19 500	6 500	3 250	71 500	200 200
катание на лодках	29,5	22	6,5	18,5	15	5	2,5	55	154

Заключение

Общая расчетная единовременная рекреационная нагрузка на городские озера Гомеля составляет 43,1 тыс. человек, т. е. каждый двенадцатый житель города может одновременно отдыхать на городских озерах. Практически не лимитируется желание принимать солнечные ванны на берегах озер – 411 тыс. человек.

Помимо этого, гомельские озера обеспечивают хорошие возможности для катания на лодках и водных лыжах, а также для любительского рыболовства.

Особым рекреационным значением обладают малые водоемы, такие как Любенское, Обкомовское и Волотовские, т. к. они в дополнение к существующей рекреационной емкости имеют хорошее транспортное обеспечение.

В целом рекреационные возможности озер Гомеля в жаркие летние периоды не гарантируют достаточного обеспечения жителей и гостей города рекреационными возможностями, поэтому при рекультивации земель, освободившихся после добычи

полезных ископаемых (строительных материалов) целесообразно в первую очередь рассматривать возможность их водохозяйственной рекультивации [2].

Комплексная оценка рекреационной пригодности акватории озер г. Гомеля, основанная на дифференцировании качества водоема для различных видов отдыха, ранее не проводилась, вследствие чего существует необходимость проведения ежегодной рекреационной оценки городских водоемов с целью определения степени их пригодности и аттрактивности для удовлетворения потребностей населения в отдыхе и туризме [2].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томаш, М. С. Характеристика водоемов урбанизированной территории (на примере г. Гомеля) / М. С. Томаш, Д. Н. Богданов // Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки в Респ. Беларусь, Брест, 25–27 сент. 2017 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 [и др.] ; науч. ред. А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров. – Брест : БрГУ, 2017. – Ч. 1. – С. 209–212.

2. Томаш, М. С. Рекреационная оценка водоемов г. Гомеля / М. С. Томаш, Д. Н. Богданов // Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки в Респ. Беларусь, Брест, 25–27 сент. 2017 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 [и др.] ; науч. ред. А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров. – Брест : БрГУ, 2017. – Ч. 2. – С. 157–160.

3. Технический кодекс установившейся практики ТКП 17.06-17-2018 (33140). – Минск : Изд-во Минприроды, 2018. – 24 с.

4. Томаш, М. С. Перспективы использования малых водоемов урбанизированных территорий / М. С. Томаш, А. И. Павловский, Д. Н. Богданов // Урбоэкосистемы: проблемы и перспективы развития : сб. материалов VI Междунар. науч.-практ. конф., Ишим, 16 марта 2018 г. / отв. ред. О. С. Козловцева. – Ишим : Изд-во Ишим. пед. ин-та им. П.П. Ершова (филиал) Тюмен. гос. ун-та, 2018. – С. 57–59.

5. Томаш, М. С. Анализ малых водоемов урбанизированных территорий (на примере города Гомеля) / М. С. Томаш, Д. Н. Богданов // Географические аспекты устойчивого развития регионов : сб. материалов III междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию геол.-геогр. факультета и каф. геологии и географии, Гомель, 23–25 мая 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. ун-т им. Ф. Скорины, Гомел. обл. отдел обществ. об-ния «Белорус. геогр. о-во», Рос. центр науки и культуры в Гомеле ; редкол.: А. И. Павловский (гл. ред.) [и др.]. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2019. – С. 328–333.

6. A SWOT Analysis of the Great Lakes Water Quality Protocol 2012: The Good, the Bad and the Opportunity [Electronic resource] // Electronic Green Journal. – Mode access: https://escholarship.org/uc/item/7h26v4cv. – Data access: 30.04.2020.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 08.04.2020

УДК 911.53:502.175:)004.65(477)

А. О. Сплодитель[1], Л. Ю. Сорокина[2]
[1]канд. геогр. наук, докторант Института геохимии, минералогии и рудообразования имени Н. П. Семененко НАН Украины
[2]канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник Института географии НАН Украины
e-mail: [1]asplodytel@gmail.com; [2]sorokina_geo@ukr.net

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЛАНДШАФТОВ УКРАИНЫ

Рассмотрены актуальные задачи мониторинговых исследований современных ландшафтов. Изложены проблемы геоэкологической оценки техногенного влияния на состояние антропогенно измененных ландшафтов Украины. Сформулированы основные положения разработанной методики ландшафтоведческого анализа состояния окружающей природной среды, основанной на применении современных информационных технологий (географических информационных систем) и интерпретации материалов дистанционного зондировани земли. Предложена конструктивно-экологическая модель мониторинга антропогенных изменений ландшафтов. Приведены основные результаты апробации методики при организации геоэкологического мониторинга ландшафтов природоохранных территорий.

SPLODYTEL A. O., SOROKINA L. Yu.
GEOECOLOGICAL MONITORING OF ANTROPOGENIC LANDSCAPE CHANGES IN UKRAINE

This paper deals with the issues of ecological assessment of the technogenic influence on anthropogenic landscape changes in Ukraine. The study provides fundamental statements of the methodology developed based on contemporary informational technologies – geographic information system for environmental condition management. The article offers constructive and ecological monitoring model of anthropogenically changed landscapes. Main results of the suggested methodology approbation during the geoecological landscape monitoring of the preserved territories organization are presented.

Введение

Среди современных мониторинговых исследований особенно актуальным и перспективным направлением представляется обоснование и организация мониторинга ландшафтов как целостных природных систем в их современных антропогенно измененных вариантах. Обязательные при мониторинговых исследованиях единый перечень наблюдаемых показателей и стандартизация получаемых данных, общие методы их обработки и прогнозирования дальнейших изменений ландшафтов позволят получать целостное представление об актуальном состоянии антропогенно измененных ландшафтов на локальном, региональном и национальном уровнях.

Вместе с тем основные виды природопользования, иные виды воздействия человека на природную среду по-разному влияют на компоненты ландшафтов и формируют разнообразные, в том числе различные по своей природе геоэкологически проблемные состояния. Поэтому необходимы различные программы мониторинговых исследований ландшафтов, находящихся в разных режимах антропогенного воздействия, и их последующая интегральная оценка с использованием комплексных показателей антропогенной измененности.

В современной географии и геоэкологии вопросам монторинга окружающей природной среды уделяется большое внимание. Основополагающие работы, в которых сформулированы базовые положения мониторинговых исследований, принадлежат И. П. Герасимову и Ю. А. Израэлю – одним из основателей экологического мониторинга окружающей среды как научного направления [1]. Эколого-ландшафтоведческое направление мониторинговых исследований тесно связано с развитием ландшафтоведения (А. Г. Исаченко, Н. А. Солнцев, Ю. Г. Симонов, В. Б. Сочава, Ф. Н. Мильков, Г. П. Мил-

лер, В. Н. Петлин, А. В. Мельник, А. М. Маринич, В. М. Пащенко, П. Г. Шищенко); его задачи – определение современного экологического состояния территорий на основе ландшафтоведческого анализа трансформационных изменений в ландшафтах, связанных с деятельностью человека. Эколого-геохимическое направление изучения ландшафтов основано на теоретико-методологических положеннях, сформулированных в работах В. В. Докучаева, Б. Б. Полынова, А. И. Перельмана, М. А. Глазовской, Ю. Е. Саета. В Украине развитие ландшафтной геохимии и геохимии окружающей среды связано с исследованиями В. Н. Гуцуляка, Л. Л. Малышевой, П. В. Зарицкого, И. Н. Волошина и некоторых других исследователей. В работах последних десятилетий, посвященных вопросам наблюдений за состоянием природной среды, особое внимание уделяется вопросам использования материалов дистанционного зондирования земли и методам их ГИС-обработки, интерпретации полученных данных на ландшафтной основе [2], возможностям современных технических средств регулярного сбора информации и анализа полученных результатов для анализа состояния современных ландшафтов.

В Украине мониторинговые исследования состояния природной среды регламентируются Законами Укрианы «Об охране окружающей природной среды», «О природно-заповедном фонде Украины» а также утвержденным постановлением Кабинета министров Украины «Положением о государственной системе мониторинга окружающей среды». На государственном уровне функционируют системы мониторинга состояния атмосферного воздуха, качества поверхностных вод суши и прибрежных вод Черного и Азовского морей, почв – на землях сельскохозяйственного использования и населенных пунктов. На локальном уровне обязательным является радиоэкологический мониторинг в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции, в 30-километровых зонах действующих АЭС Украины. Комплексный же мониторинг состояния ландшафтов и их антропогенных изменений – это, очевидно, лишь точечные регулярные научные исследования на географических стационарах, функционирующих в отдельных регионах Украины (Черногорский – в Украинских Карпатах, Росточский – в широколиственнолесной зоне, Дымерский – в хвойно-широколиственнолесной зоне и некоторые другие).

Основной ***целью*** данной статьи является обоснование целесообразности комплексных мониторинговых исследований, основанных на ландшафтоведческих позициях, основных направлений и методов получения и использования информации для организации геоэкологического мониторинга антропогенных изменений ландшафтов Украины. Исследовательские ***задачи***, которые позволили представить полученные результаты:

1) формулирование основных задач и этапов (блоков) геоэкологического мониторинга антропогенных изменений ландшафтов;

2) обоснование программы геоэкологических исследований как составляющей мониторинга антропогенных изменений ландшафтов, находящихся под воздействием различных факторов;

3) изложение методики сбора и обработки результатов наблюдений;

4) представление результатов реализации предложенных методик и программы мониторинга на примере организации геоэкологического мониторинга антропогенных изменений ландшафтов одного из природоохранных объектов.

Методы исследования, примененные при геоэкологическом мониторинге современных ландшафтов и описанные в статье, – это методы ландшафтоведческого и ландшафтоведческо-геохимического анализа, методы обработки материалов дистанционного зондирования земли и геоинформационного моделирования.

Результаты и их обсужение

Теоретические основы ландшафтоведческо-мониторинговых исследований сформулированы в работах [3–6]. Авторами подчеркивается, что ландшафтный мониторинг не дублирует, не подменяет другие виды мониторинга, а является самостоятельной формой комплексного контроля состояния природной среды [3].

Геоэкологический мониторинг антропогенных изменений ландшафтов – это информационно-прогнозная система, предназначенная для обеспечения специальных высокоточных наблюдений с целью оценки современного и прогнозного состояния компонентов ландшафта, определения степени и источников антропогенного влияния на природную среду. Основные задания системы мониторинга ландшафтов:

1) проведение систематических наблюдений, сбор и систематизация данных о состоянии ландшафтов;

2) создание и ведение банков данных, обеспечение сбора информации и ифформационного обмена;

3) анализ информации, оценка состояния ландшафтов и влияния на них антропогенных факторов, определяющих уровни загрязнения, изменения структуры землепользования в ландшафтах и др.;

4) прогнозирование изменений и информационно-аналитическая поддержка принятия решений в области охраны окружающей природной среды, рационального использования природных ресурсов и геоэкологической безопасности.

Важнейшим элементом структуры мониторинга является система научно-технических и методических разработок. Их назначение – подготовка всего комплекса методов и методик, используемых при планировании, организации и функционировании мониторинга, при проведении производственных работ, при анализе и оценке результатов наблюдений, прогнозировании изменений ландшафтов и формулировании управленческих решений.

Организационная составляющая системы мониторинга включает три основных блока: подготовки данных, создания базы данных, управления данными.

Система подготовки данных включает модули, обеспечивающие сбор, обработку и хранение исходных данных в цифровом формате.

Создание геоэкологической базы данных содержит две подсистемы:

а) создание тематических слоев;

б) обработка тематических слоев.

Для создания тематического слоя в базу данных вносятся статистические данные геоэкологического мониторинга и существующие картографические материалы. На основании этих данных определяются кадастровые слои по всем видам загрязнений. Подсистема обработки данных дает возможность изменять или дополнять уже имеющиеся данные.

Система управления данными включает подсистему визуализации факторов: на основе данных, собранных в геоэкологической кадастровой базе данных татематических слоев, создаются карты экологического состояния территорий. При создании оценочных карт средства ГИС позволяют автоматически расчитывать коэффициент геоэкологического состояния [4].

Предлагаемая система мониторинга антропогенных изменений ландшафтов состоит из блоков:

1. Ландшафтоведческий аудит (оценка современного состояния всех компонентов природы на исследуемой территории) выполняется на основе анализа геоэкологических показателей состояния и структуры ландшафта, их способности к самовосстановлению, характеристики природного и антропогенного влияния техногенных объектов на ландшафты. Показатели современного состояния ландшафтов необходимо срав-

нивать с нормативными. Ландшафтоведческий аудит определяется как «процесс выявления, параметризации и комплексного оценивания фактического состояния ландшафтов в условиях конкретного вида природопользования, как информационно-консультативная и прогностическая экспертно-совещательная система; заключается в накоплении аналитико-синтетической информации об антропогенных изменениях ландшафтов и в дальнейшем целевом использовании ее в зависимости от объекта и субъекта аудита. От других видов аудита отличается «последовательно-сетевым» определением взаимосвязей ландшафтных объектов аудита с другими (внеаудитными) объектами» [5, с. 54]. Конечной целью ландшафтоведческого аудита является проверка соответствия современного экологического состояния экологическим стандартам, которые обеспечивали бы оптимальное состояние ландшафта и безопасность жизнедеятельности человека.

2. Оценка влияния на окружающую природную среду техногенных объектов как элемент процесса их проектирования, строительства и эксплуатации.

3. Прогноз изменения геоэкологической ситуации в зависимости от разных сценариев социально-экономического развития территории выполняется средствами компьютерного моделирования геоэкологических состояний той или иной территории в зависимости от существующего или заданных режимов функционирования.

4. Ландшафтный менеджмент (управление геоэкологической ситуацией в целях ее оптимизации) является завершающим этапом мониторинга, он позволяет осуществлять управляемый контроль за экологически безопасной деятельностью в пределах конкретной территории [6].

Программа геоэкологических исследований как составляющей мониторинга антропогенно измененных ландшафтов предусматривает сбор и систематизацию следующей информации [6–9]:

1) источники поступления загрязняющих веществ – выбросы загрязняющих вещвеств в атмосферу промышленными, энергетическими, транспортными и другими объектами;

2) сбросы сточных вод в водные объекты, поверхностный смыв загрязняющих веществ и др.

3) данные о количестве поступающих в почву загрязняющих и биогенных веществ вместе с удобрениями и ядохимикатами при сельскохозяйственной деятельности;

4) места захоронения и складирования промышленных и коммунальных отходов; сведения о техногенных авариях, приводящих к выбросам в атмосферу опасных веществ и (или) разлива жидких загрязняющих веществ и т. д.;

5) перенос загрязняющих веществ – процессы атмосферного переноса; процессы переноса и миграции в водной среде;

6) процессы ландшафтно-геохимического перераспределения загрязняющих веществ (вертикальная миграция загрязняющих веществ по почвенному профилю; горизонтальная миграция загрязняющих веществ по ландшафтно-геохимическому профилю с учетом ландшафтно-геохимических барьеров и т. д.);

7) данные о состоянии антропогенных источников эмиссии: мощность и место его локализации, ландшафтные условия эмиссии в окружающей среде.

Методика сбора и обработки (интерпретации) результатов мониторинговых наблюдений. Результатом ландшафтоведческого аудита, которому подлежат структуры отдельных компонентов природы и характеристики природно-антропогенного влияния техногенных объектов на ландшафты, является интегральная карта с обозначенными зонами геоэкологического состояния: благоприятного, удовлетворительного, напряженного, неудовлетворительного, предкризисного, критического и катастрофического.

После определения геоэкологического состояния той или иной территории необходима разработка прогноза ее дальнейшего развития. Для этого изучается динамика

природных изменений всех компонентов ландшафта и влияние на них антропогенных факторов. Такая система ландшафтоведческо-экологического мониторинга антропогенных изменений ландшафтов предусматривает выполнение основных задач [4; 6; 7]:

1) определение целей ландшафтоведческо-экологического мониторинга антропогенных изменений ландшафтов и требований к информации, необходимой для их выполнения;

2) создание организационной структуры ландшафтоведческо-экологического мониторинга нарушенных земель;

3) разработка проекта сети режимных наблюдений за объектами мониторинга антропогенных изменений ландшафтов и порядка проведения наблюдений;

4) создание системы сбора информации о состоянии антропогенно измененных ландшафтов и периодическая проверка ее достоверности.

Одной из актуальных составляющих негативного антропогенного воздействия на ландшафты является их химическое загрязнение. При разработке программы геоэкологических исследований антропогенных изменений ландшафтов особое внимание уделяется именно анализу уровней их загрязнения техногенными элементами, для чего определяется оптимальная сеть исследовательских полигонов, расположенных в ландшафтных комплексах различных типов, на которых отбираются пробы. Сеть полигонов для ландшафтного мониторинга должна определяться таким образом, чтобы были охвачены все ландшафты несколькими точками отбора проб в зависимости от их площади и масштаба карты. Оптимальной считается сеть, в которой расстояние между полигонами составляет в среднем 1 см на карте [9]. Одним из первых примеров организации сети точек (полигонов) мониторинговых исследований на основе данных о ландшафтной структуре территории является опыт разработки и использования реперной сети радиоэкологического мониторинга в 60-километровой зоне Чернобыльской АЭС [10; 13].

В процессе обработки мониторинговых данных используются различные *методы определения геохимического фона* с использованием вариационной статистики. Поиски новых подходов позволили нам усовершенствовать расчетные и графические методы определения регионального фона, аномальных содержаний и других показателей геохимического поля. Предложенные усовершенствования касаются расчетных и графических методов определения фона.

Из опыта ландшафтоведческо-геохимических исследований известно, что для статистической обработки достаточно иметь данные по 30 и более количеству проб [6; 9]. В наших исследованиях этот показатель, как правило, выше в 2–4 раза.

Используемые относительные показатели содержания химических элементов – это коэффициент концентрации (*Кс*), или аномальности химических элементов, и суммарный показатель загрязнения (*Zc*). *Кс* определяется как отношение реального содержания элемента в данной точке к его фоновому содержанию, он рассчитывается для каждого элемента ландшафта, строится отдельная карта. Используя базу данных о содержании элементов, можно рассчитать коэффициенты концентрации элементов в отдельных компонентах ландшафтов для всех геоэкологических полигонов [6]. Суммарный показатель загрязнения *Zc* рассчитывается как сумма коэффициентов концентрации отдельных элементов, превышающих фоновые значения или ПДК. *Zc* того или иного компонента ландшафта характеризуют его устойчивость к антропогенным нагрузкам. Если последние не перевышают способность ландшафта к самоочистке, возникают геоэкологические ситуации различной сложности, которые представляется возможным оценить количественно.

Методы ГИС-моделирования показателей распределения загрязняющих веществ в ландшафтах. На ландшафтно-геоэкологическую карту распределения того или иного элемента в конкретной среде (почвы, поверхностные воды, атмосферный

воздух и т. д.) наносятся изолинии его равных концентраций, которые должны соответствовать среднему значению *x*-го элемента в каждом характерном интервале. Т. е. изолинии концентраций элементов на картах проводятся не с равным интервалом значений, как иногда можно увидеть на геохимических картах, а только через характерные интервалы. В таком случае изолинии будут передавать характер распределения элемента в ландшафте. Это обосновывается характером распределения содержаний того или иного элемента в своих интервалах. Поэлементные ландшафтно-геоэкологические карты (карты содержания того или иного элемента в компонентах ландшафта) строятся либо «вручную», путем интерполяции данных от одного геоэкологического полигона к соседнему, либо в автоматическом режиме с использованием ГИС. На основании таких же принципов моделирования, с использованием базы данных о коэффициентах концентрации *Кс* элементов и суммарных показателей загрязнения *Zc*, создаются карты распределения значений этих показателей в пределах исследуемой территории. Анализ таких карт демонстрирует особенности распределения аномальных содержаний химических элементов в компонентах ландшафта. Такие данные дают возможность оценить геоэкологическое состояние того или иного компонента ландшафта и их интеграцию для оценки ландшафта в целом [4; 6; 13].

Разработка структуры базы данных геоэкологической информации о каждом компоненте ландшафта предусматривает объединение в компьютерный банк ландшафтно-геоэкологической информации. В каждой базе – от 10 до 100 геоэкологических показателей, имеющих различную динамику. Прогноз изменений геоэкологической ситуации в зависимости от различных сценариев развития выполняется методами ГИС-моделирования геоэкологических состояний той или иной территории в зависимости от существующего или заданных режимов функционирования.

Для углубленного анализа и оценки информации о состоянии ландшафтов, а также прогнозирования тенденций изменений и предоставления информации для подготовки управленческих решений могут решаться такие задачи:

1) комплексная оценка геоэкологического состояния территории, влияния отдельных факторов загрязнения, эффективности использования мероприятий, направленных на улучшение состояния ландшафтов;

2) определение уровня риска возникновения экологически опасных ситуаций техногенного и природного характера;

3) оценка существующего риска для функционирования ландшафтов;

4) создание моделей для прогнозирования состояния окружающей природной среды и разработка мероприятий по улучшению геоэкологического состояния.

Наиболее эффективными методами оперативного контроля геоэкологического состояния являются *методы использования данных аэрокосмического зондирования Земли* в различных спектральных диапазонах. Современный уровень развития средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) дает возможность получать данные о параметрах суши и водных объектов с необходимыми пространственными элементами распознания и периодичностью обновления информации. Опыт исследований показывает, что наиболее полные и достоверные результаты можно получить при условии комплексного, синхронного проведения космических и наземных исследований, когда данные наземных измерений экстраполируются на картосхемы, полученные на основе космических снимков. Впервые метод космической спекторфотометрии был применен во время наблюдений за природными системами с космического корабля «Союз-7» [2; 4].

Инфракрасная космическая индикация состоит в фиксации собственного теплового излучения природных объектов. При этом обычно выделяются две области спектра, обусловленные окнами прозрачности атмосферы: 3,5–5,5 мкм и 8–15 мкм. Последняя зона более информативна, однако отсутствие достаточно чувствительных приемников

приводит к уменьшению разрешающей способности в этой области. Регистрация собственного теплового излучения проводится специальными сканирующими системами или инфракрасными радиометрами. Наиболее успешно инфракрасная индикация применяется для обнаружения пожаров и исследования различных геотермальных процессов. Инфракрасные датчики, установленные на спутниках, способны фиксировать разницу поверхностных температур между отдельными участками почв. На основании полученных данных возможна быстрая и точная дифференциация участков почвы с различной влажностью и механическим составом на больших территориях. Температура поверхности почвы, кроме того, указывает на подповерхностные почвенные условия. Инфракрасная регистрация дает качественную характеристику содержания почвенной влаги в верхнем 50-сантиметровом слое открытого почвенного покрова. Инфракрасная индикация позволяет выявить почвы с различной текстурой и структурой, а также почвы с разной степенью засоленности. Пассивня радиотепловая съемка регистрирует природное излучение Земли в радиодиапазоне, она осуществляется специальными радиометрами. Контрасты, зарегистрированные во время радиотепловой съемки, обусловлены различной способностью излучения нагретых тел в радиодиапазоне. Излучающая способность зависит от состава почв, состояния поверхности, температуры и влажности. Применение радиотепловой съемки в сочетании с инфракрасной индикацией дает возможность количественного определения температуры и влажности поверхностного слоя почв [2; 6].

В организации многоуровенного мониторинга территорий важным заданием является своевременное и автоматизированное обнаружение потенциально опасных природных и антропогенных процессов. Изучение изменений в пределах отдельных ландшафтных единиц на территориях, которые периодически или постоянно испытывают антропогенное влияние, является достаточно трудо-, время- и ресурсоемким процессом, что существенно увеличивает стоимость процесса мониторинга традиционными средствами [2; 4; 6]. При мониторинге антропогенных изменений ландшафтов с применением данных дистанционного зондирования такое задание предусматривает выявление изменений спектральной отражающей способности объектов на местности, их локализацию, классификацию и, как следствие, принятие решений о целесообразности выполнения в обнаруженных локусах дополнительных, более детальных наблюдений.

Описанная в указанных источниках методика (с некоторыми нашими дополнениями) использована для оценивания динамики изменений компонентов природной среды в пределах природоохранной территории с 1986 по 2016 г. Для двух разновременных космических снимков с идентичными наборами спектральных каналов выявляются отличия (нормированная разница значений яркости) попарно между соответствующими каналами снимков. По этим данным можно контрастно выделить участки территории, которые за прошедшее между съемками время заметно изменили отражающие спектральные характеристики (в сравнении с контрастом участков, которые не были изменены и, соответственно, не изменили своих отражающих спектральных характеристик). Для каждого из соответствующих спектральных каналов исходных снимков создается свое разностное изображение. Общее количество разностных изображений равняется количеству соответствующих спектральных каналов. Снимки представляют собой синтез в натуральных цветах с синтезированным синим каналом.

Необходимым условием получения качественного результата обработки изображений является выполнение процедуры увеличения пространственного разрешения мультиспектральных космических снимков, известные в литературе как pansharpening, или fusion [2; 6]. Практически это увеличение пространственного распознания изображений с более низким пространственным распознанием (мультиспектральные снимки ASTER, 30 м) по изображению с более высоким пространственным разрешением (панхроматическим изображением, в данном случае это 8-й канал снимка LANDSAT, 15 м).

На следующем этапе создаются псевдопанхроматические снимки из спектрозональных (цветных) снимков. Фактически этот процесс сводится к поиску суммы нормированных значений пикселов разных каналов одного снимка. В результате синтезируются псевдопанхроматические снимки, необходимые для выполнения последующих заданий. Создание и визуализация разностного изображения для одноименных спектральных каналов двух космических снимков в пакете программ ENVI предусматривает следующие действия в отношении двух разновременных снимков ASTER (предварительно необходимо обрезать снимки по зоне перекрытия):

1) определение среднего значения DN для канала G и B каждого из снимков;

2) создание разностного изображения для двух псевдопанхроматических снимков, созданных на первом этапе;

3) создание RGB изображения из спектральных каналов при визуализации разностных изображений; на полученном при таких условиях изображении красным цветом отображаются участки территории, на которых коэффицент отражения со временем увеличился, серо-зеленым цветом – участки, на которых коэффицент отражения со временем уменьшился;

4) применение адаптивной фильтрации для улучшения качества изображений.

В пакете программ ENVI разностные изображения обрабатываются фильтром, формируются карты динамики в цифровом формате, которые дополняются тематическими слоями с цифровой топографической карты [4].

Геоэкологическое дешифрирование материалов современных многозональных космических съемок и их интерпретация с геолого-картографическими данными на территории антропогенно измененных ландшафтов позволяют оценивать и прогнозировать развитие этих процессов. Картирование глубин уровней ґрунтовых вод (Н) и определение зон подтопления выполняется с использованием ландшафтно-индикационной методики, базирующейся на установлении связей между видимыми на многозональных снимках компонентами ландшафта (рельеф, почвы, поверхностные воды, растительность). Кроме того, в пределах территории с проективным покровом (CV) 30–35 % глубина уровня ґрунтовых вод определялется с использованием плотности фототона снимка ближнего ІК-диапазона (Р) в соответствии с полученной эмпирической зависимостью:

$$\ln H = A + B\ln P,$$

где А и В – коэффициенты, зависящие от типа почвы и проективного покрова, определяются на тест-участках по данным наземных измерений Н [2; 4; 6; 9].

Постоянно действующий мониторинг на основе космических съемок для исследования экологически неблагоприятных природных и природно-антропогенных процессов в ландшафтах будет способствовать решению актуальных проблем улучшения геоэкологического состояния территорий.

Структура мониторинга априори предполагает специальную разработку в каждом конкретном случае (для каждого конкретного региона) и не подлежит жесткой регламентации за исключением некоторых общих аспектов.

В качестве примеров программ геоэкологического мониторинга антропогенных изменений ландшафтов приводим разработки для двух различных, диаметрально противоположных по характеру антропогенных нагрузок объектов мониторинга. Это перспективные предложения по программе проведения комплексных исследований ландшафтов зон влияния военной деятельности и уже реализованная программа геоэкологичесих исследований на одном из объектов природно-заповедного фонда Украины.

Программа геоэкологических исследований объектов природно-заповедного фонда Украины и ее реализация на примере Национального природного парка «Нижнесульский». Созданные в Украине природоохранные объекты, среди которых

приоритетное место принадлежит национальным природным паркам (НПП), сосредоточены преимущественно на территориях, которые в прошлом интенсивно использовались в хозяйственной деятельности. Поэтому они характеризуются значительной антропогенной трансформированностью ландшафтных комплексов. Цель геоэкологического мониторинга природоохранных территорий – это комплекс выполняемых по научно обоснованным программам наблюдений, оценок, прогнозов и разрабатываемых на их основе рекомендаций и вариантов управленческих решений, необходимых и достаточных для обеспечения управления состоянием окружающей среды и экологической безопасностью.

Необходимое условие мониторинга объектов природно-заповедного фонда – организация оптимальной сети пунктов наблюдения на природоохранной территории, которые в комплексе с аналогичными пунктами за их пределами образовывали бы целостную репрезентативную сеть для всей мозаики ландшафтов территории исследования [12]. Организация сети пунктов ландшафтного мониторинга на территории объектов природно-заповедного фонда предусматривает:

1) изучение пространственно-временной организации ландшафтов и выявление их геохимических свойств, определяющих геоэкологическое состояние территории исследования;

2) определение оптимальных пространственно-временных масштабов наблюдений.

Цель такого мониторинга – комплексная оценка фактического и прогнозируемых состояний ландшафтов (природных и антропогенно измененных) и идентификация геоэкологической ситуации.

Актуальные задачи мониторинга объектов природно-заповедного фонда:

1) мониторинг редких и типичных видов ландшафтов территории;

2) создание сети мониторинговых точек (опорные пункты наблюдений и проведения мониторинга) для исследования общего состояния ландшафтов и целевых точек для мониторинга состояния отдельных типов ландшафов и их антропогенных изменений;

3) подготовка методологической базы для проведения мониторинга с учетом специфики ландшафтно-геохимических характеристик территории исследования.

В качестве примера осуществления программы геоэкологических исследований объектов природно-заповедного фонда выбрана территория Национального природного парка (НПП) «Нижнесульский». Он расположен на границе Черкасской и Полтавской администативных областей на левобережье р. Днепр и охватывает нижнюю часть долины р. Сула, его притока. Исследуемая территория представляет специфику ландшафтов лесостепной части долины Днепра. В пределах Национального природного парка «Нижнесульский» и прилежащих к нему территорий, включенных в район исследований, выделяется 5 видов ландшафтов [12]:

1. Ландшафты четвертой моренной надпойменно-террасовой равнины р. Днепр, сложенной маломощными лессовидными суглинками, подстеленными моренными отложениями, и влажными дубравами, и остепненными лугами, с типичными малогумусными чорноземами, в том числе солонцеватыми.

2. Ландшафты второй лессовой надпойменно-террасовой равнины р. Сула, сложенной эолово-элювиальными лессовидными суглинками мощностью 0,5–6 м с линзами и прослойками оглеенного материала, подстеленными пресноводным мергелем мощностью 0,2–2,2 м, с черноземами типичными малогумусными среднекарбонатными средне- и сильносолонцеватыми, черноземами типичными глубококарбонатными слабосолонцеватыми, черноземами типичными глубококарбонатными средне- и сильносолонцеватыми легкосуглинистыми, в прошлом занятыми свежими и влажными дубравами (восточная часть территории).

3. Ландшафты первой песчаной надпойменно-террасовой равнины, сложенной мощными песками, которые носят следы эоловой переработки, с дерновыми оподзоленными песчаными и супесчаными и дерновыми оподзоленными супесчаными почвами (на погребенных дерновых оглееных почвах) под сухими и свежими суборями. Основная поверхность первой песчаной надпойменно-террасовой равнины р. Сула в южной и центральной частях осложнена многочисленными крутосклонными дюнообразными повышениями, серповидно изогнутыми, высотой до 8–12 м. Они сложены хорошо отсортированными песками, заняты сосняками. Безлесные дюны часто служат очагами дефляции.

4. Ландшафты сегментно-гривистых пойм, сложенные современными аллювиальными отложениями (суглинистыми, торфяными и иловато-болотными) на аллювиально-флювиогляциальной песчаной толще, подстеленной пресноводным мергелем (северо-западная часть территории исследования, пойма р. Оржица) с торфянисто-болотными низинными карбонатными и иловато-болотными глубоко-сильносолонцеватыми почвами под тростниковой, осоковой и разнотравно-злаковой высокотравной прибрежно-водной растительностью, в комплексе с мокрыми ивняками.

5. Ландшафты сегментно-островных пойм, сложенные голоценовыми аллювиальными отложениями (суглинистыми, торфяными) мощностью 9–16 м на аллювиально-флювиогляциальной песчаной толще (центральная часть территории, пойма р. Сула) с лугово-черноземными поверхностно-слабосолонцеватыми, луговыми слоистыми поверхностно-глубокосолонцеватыми, черноземами луговыми, луговыми глубококими солонцеватыми, черноземами луговыми поверхностно-среднесолонцеватыми под влажными злаково-разнотравными лугами.

При организации мониторинга территории НПП были учтены особенности ландшафтной структуры территории. Территория включает ландшафтные комплексы ранга урочищ: моренных и лессовых надпойменно-террасовых равнин и их склонов, пойм, пролювиально-делювиальных шлейфов, эрозионной сети и западин. Особенности ландшафтно-геохимической структуры ландшафтных комплексов разных типов определяют пути и механизмы миграции полютантов. Именно поэтому мониторинговые точки размещены по принципу геохимического сопряжения и располагаются от зон преимущественного выноса до аккумулятивных поверхностей, а также в зонах наибольшей аккумуляции загрязняющих веществ [12].

Территория НПП соседствует с сельськохозяйственными землями, населенными пунктами, автомобильными дорогами и другими объектами хозяйственного использования. Характерные для них источники загрязнения прямо или опосредствованно влияют на геоэкологическое состояние территории НПП. Поэтому мониторинговые исследования должны охватывать все эти территории с особенным вниманием к смежным с парком участкам. Одним из наиболее неблагоприятных последствий антропогенных воздействий на ландшафты исследуемой территории является химическое загрязнение. Кроме сельскохозяйственной деятельности, которая осуществляется на значительной части парка и на прилегающих территориях, антропогенное воздействие на ландшафты связано здесь с работой ряда промышленных предприятий, расположенных в близлежащих населенных пунктах. Это, например, ОАО «Полтавский горно-обогатительный комбинат» (г. Комсомольск), АО «Укртатнафта» (г. Кременчуг), ОАО «Кременчугский сталелитейный завод», ООО «ТФ Кременчуг-нефтепродукт», склад ядохимикатов ОАО «Хорольская сельхозхимия» и др.

Проведенные авторами на территории парка ландшафтоведческо-геохимические исследования показали систематические превышения фоновых, в отдельных местоположениях – предельно допустимых показателей содержания тяжелых металлов в компонентах ландшафтов (почвах, растениях, поверхностных водах). Поэтому контроль за содержанием тяжелых металлов (Pb, Cu, Zn и др.) в ландшафтах НПП является при-

оритетным для мониторинговых наблюдений. Контролируют содержание загрязнителей с помощью определения валовых и подвижных форм тяжелых металлов в отобранных образцах.

Целью фонового мониторинга является изучение показателей, которые характеризуют ход природных процессов в ландшафтах. Учитывая изменения в зонировании парка (существующее и перспективное увеличение площадей заповедных территорий), одним из направлений мониторинга является наблюдение за самовосстановлением ландшафтов и их составляющих (растительного и почвенного покрова, зооценозов и др.).

Важным перспективным направлением мониторинговых исследований является поиск показателей, при помощи которых возможно [12; 13]:

1) характеризовать состояние ландшафтов;

2) давать оценку глубины антропогенных изменений в ландшафтах и допустимых уровней нагрузок на них;

3) обосновывать мероприятия минимизации экологических рисков и обеспечения необходимых уровней экологической безопасности.

Важной частью наших мониторинговых исследований стало обобщение результатов ландшафтоведческих исследований, проведенных в 2014–2017 гг., и составленная крупномасштабная ландшафтная карта территории НПП «Нижнесульский».

Анализ этих материалов позволил при размещении точек мониторинга корректно выбрать наиболее характерные типы ландшафтных комплексов. При этом учтены следующие факторы: геоморфологическая характеристика, гидрологический, гидрофизический и гидрохимический режимы (для акваториальных ландшафтных комплексов), контроль за метеорологическими параметрами, степень сохранности почвенного покрова, состояние биоты и эколого-токсикологическая ситуация.

Ландшафтные полигоны мониторинга, на которых проводятся наблюдения, являются источником информации об основных показателях, характеристиках ландшафтной и акваториальной структуры территории НПП «Нижнесульский». Мониторинговые наблюдения за динамикой ландшафтов территории НПП «Нижнесульский» предполагают проведение согласованных наземных наблюдений и данных дистанционного зондирования.

Изучение многолетней динамики изменения ландшафтов выполнено по данным космических снимков Landsat-8 с периодами съемки 08–28.04.1986 г. и 11–30.04.2016 г., которые были проанализованы с использованием программы ERDAS IMAGINE.

На основе данных КА Landsat-8 (спектральный диапазон: 1,55–1,75 мкм, пространственная разрешающая способность – 15 м) были актуализированы некоторые гидроморфометрические характеристики р. Сулы (площадь водного зеркала, длина береговой линии) и составлена карта структуры современного природопользования.

Тематическое дешифрирование данных ДЗЗ средней и высокой разрешающей способности территории НПП «Нижнесульский» позволило получить следующие результаты (рисунки 1, 2):

1) увеличение площади ландшафтных комплексов пойм среднего и низкого уровня, а также варьирование площади водной поверхности;

2) интенсивное (33,17 %) накопление донных отложений в устьевой части – (за более чем 30 лет около 1 % в год);

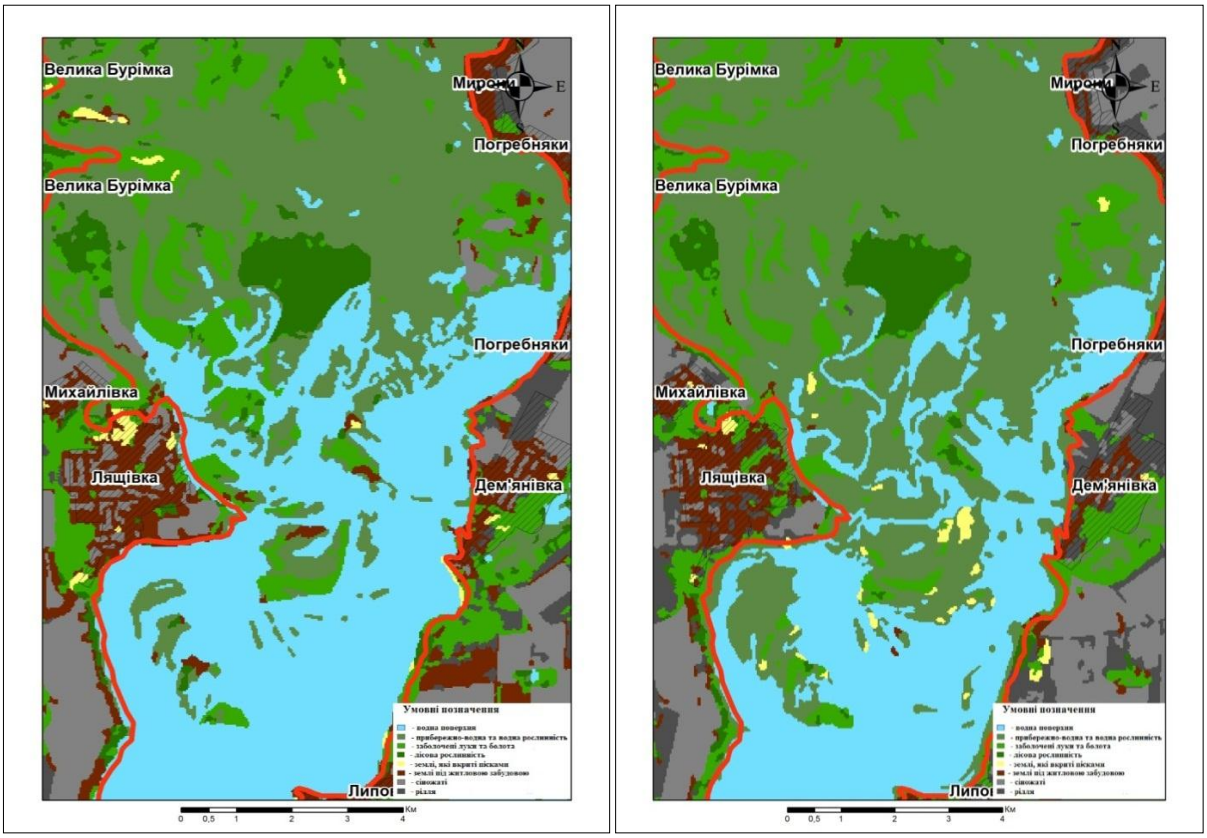
3) уменьшение (с 4 221,3 до 4 135,4 га) площади водного зеркала в основном за счет увеличения площадей ландшафтных комплексов сегментно-островных сегментно-гривистых пойм;

4) рост площадей прибрежно-водной и водной растительности с уменьшением площадей заболоченных лугов и болот;

5) снижение уровня Кременчугского водохранилища до 78–79 м (2011–2013 гг.) и увеличение протяженности береговой линии;

6) увеличение площадей пойменной лесной растительности в местах накопления минерального и органического ила.

Результаты мониторинговых исследований состояния ландшафтных комплексов и их компонентов являются важной составляющей информационного обеспечения природоохранной деяльности национальных природных парков. Мониторинговые наблюдения за уровнями содержания загрязняющих веществ и отдельными природными и природно-антропогенными процессами дают возможность оперативно реагировать на изменения, влияющие на состояние ландшафтов и осуществлять эффективную природоохранную деятельность.



а) космический снимок Landsat-8, 28.04.1986 *б) космический снимок* Landsat-8, 30.04.2016

водная поверхность
прибрежно-водная и водная растительность
заболоченные луга и болота
лесная растительность
незакрепленные песчаные земли
земли под жилой застройкой
сенокосы
пахотные земли

Рисунок 1. – Многолетняя динамика ландшафтов территории НПП «Нижнесульский»: а) апрель 1986 г.; б) апрель 2016 г.

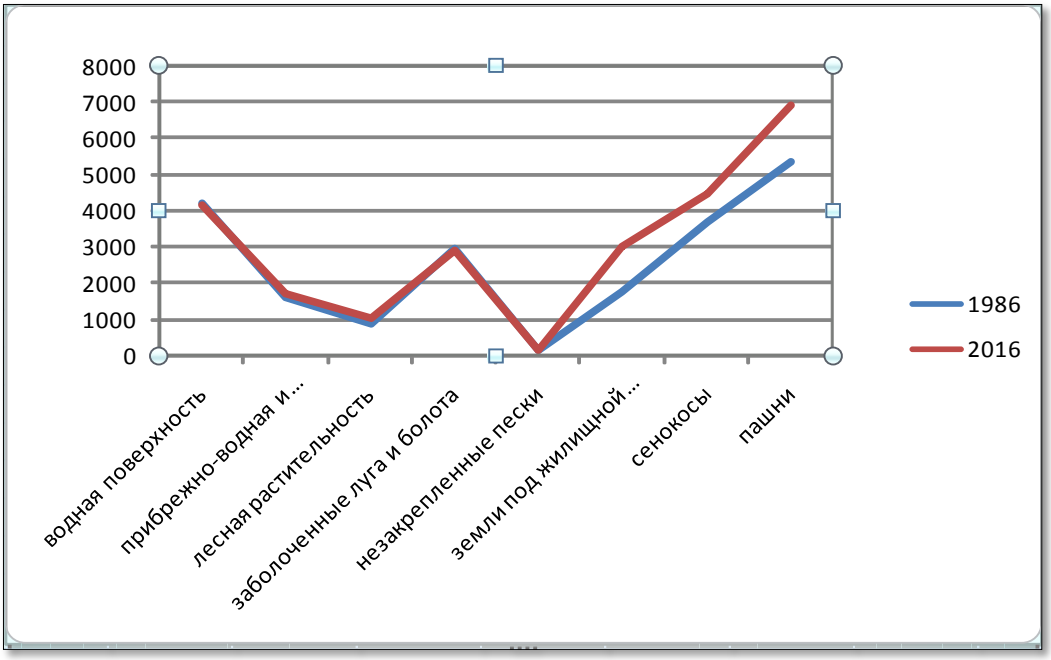


Рисунок 2. – Динамика площадей ландшафтов НПП «Нижнесульский» за 1986 и 2016 гг., га

Для перспективного развития системы геоэкологического мониторинга на территориях национальных природных парков необходимы обеспечение комплексности наблюдений и унификация системы мониторинга за состоянием ландшафтов и их антропогенных изменений для всех национальных природных парков Украины.

Заключение

Для Украины характерны значительна плотность населения и достаточно высокая концентрация промышленного и сельскохозяйственного производства. Геоэкологические проблемы также связаны с негативным воздействием на ландшафты последствий радиационной катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции; существенной является опасность проникновения токсикантов из системы «вода – порода» в подземные воды, обеспечивающие водоснабжение большей части населенных пунктов страны. Все это делает актуальным осуществление оперативного контроля геоэкологического состояния и современных антропогенных изменений ландшафтов, нагрузка на которые в некоторых регионах превышает экологически допустимые уровни.

В решении актуальных задач улучшения геоэкологического состояния прирдной среды как неотъемлемой составляющей рационального природопользования важное место принадлежит современным средствам мониторинга антропогенных изменений ландшафтов Украины. Его организация на региональном и государственном уровне позволит обобщить существующие данные мониторинговых исследований состояния компонентов природной среды, дополнить их комплексными показателями и интегрировать геоэкологическую оценку современного состояния антропогенно измененных ландшафтов на основе единых методических подходов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снытко, В. А. Система экологического мониторинга в научном наследии академиков И. П. Герасимова и Ю. А. Израэля / В. А. Снытко, А. П. Собисевич // Индика-

ция состояния окружающей среды: теория, практика, образование : тр. V Междунар. науч.-практ. конф. – М., 2017. – С. 393–398.

2. Дорожинський, О. Фотограмметрія, геоінформатика, дистанційне зондування в дослідженнях культурного ландшафту / О. Дорожинський, І. Колб, О. Дорожинська // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2009. – Вип. 71. – С. 108–121.

3. Мельник, А. В. Ландшафтний моніторинг / А. В. Мельник, Г. П. Міллер. – Київ, 1993. – 152 с.

4. Триснюк, В. Комп'ютерно-картографічне моделювання антропогенного впливу енергетичного об'єкта на ландшафти / В. Триснюк // Вісн. ТНТУ (приладобудування та іформаційно-вимірювальні технології). – 2012. – Т. 65, № 1. – С. 161–168.

5. Гриневецький, В. Т. Аудит ландшафтознавчий / В. Т. Гриневецький // Екологічна енциклопедія : у 3 т. ; голов. ред. А. В. Толстоухов. – Київ : Центр екол. освіти та інформації, 2007–2008. – Т. 1. – 2007. – С. 54–55.

6. Природничі основи екологічного моніторингу Карпатського регіону / О. М. Адаменко [та ін.]. – Київ : Манускрипт, 1996. – 208 с.

7. Моніторинг довкілля : підручник / А. К. Запольський [та ін.]. – Кам'янець-Подільський : Медобори-2006. – Т. 1 – 408 с.

8. Екологічний моніторинг: концепції, принципи / В. Погребенник [та ін.] // Вимірювальна техніка та метрологія. – 2005. – № 65. – С. 164–171.

9. Фоновий моніторинг навколишнього природного середовища : монографія / за ред. М. М. Приходька. – Івано-Франківськ : Фоліант, 2010. – 324 с.

10. Давыдчук, В. С. Обоснование реперной сети радиоэкологического мониторинга 60-км зоны ЧАЭС / В. С. Давыдчук, В. Г. Линник // Тез. докл. I науч.-техн. семинара по основным результатам ЛПА на ЧАЭС. – Чернобыль, 1988. – С. 75.

11. Дзисюк, О. В. Екологічний моніторинг стану регіонів військової діяльності штатними засобами вимірювальної техніки військ / О. В. Дзисюк, В. Є. Козлов, Ю. В. Козлов // Системи обробки інформації. – 2013. – Вип. 1 (108). – С. 263–266.

12. Сплодитель, А. О. Національний природний парк «Нижньосульський» як потенційний об'єкт Смарагдової мережі / А. О. Сплодитель // Мережа NATURA 2000 як інноваційна система охорони рідкісних видів та оселищ в Україні : матеріали наук.-практ. семінару. – Київ, 2017. – Т. 1. – С. 224–228.

13. Сплодитель, А. О. Мониторинг антропогенных изменений ландшафтов Украины: принципы организации, методы анализа данных дистанционного зондирования Земли и ГИС-моделирования / А. О. Сплодитель, Л. Ю. Сорокина // Вопр. географии и геоэкологии Респ. Казахстан. – 2018. – № 4. – С. 25–39.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 14.04.2020

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 двух экзэмплярах аб'ёмам ад 0,35 да 0,5 друкаванага аркуша, у электронным варыянце – у фармаце Microsoft Word for Windows (*.doc; *.rtf) і павінны быць афармлены ў адпаведнасці з наступнымі патрабаваннямі:

- папера фармата 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. Фатаграфіі ў друк не прымаюцца. Размернасць усіх велічынь, якія выкарыстоўваюцца ў тэксце, павінна адпавядаць Міжнароднай сістэме адзінак вымярэння (СВ). Пажадана пазбягаць скарачэнняў слоў, акрамя агульнапрынятых. Спіс літаратуры павінен быць афармлены паводле Узораў афармлення бібліяграфічнага апісання ў спісе крыніц, якія прыводзяцца ў дысертацыі і аўтарэферате, зацверджаных загадам Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь ад 25.06.2014 № 159 у рэдакцыі загада Вышэйшай атэстацыйнай камісіі Рэспублікі Беларусь 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. 6об.]). Не дапускаецца выкарыстанне канцавых зносак.

Матэрыял уключае наступныя элементы па парадку:

- індэкс УДК (выраўноўванне па левым краі);
- ініцыялы і прозвішча аўтара (аўтараў) (выдзяляюцца паўтлустым шрыфтам і курсівам; выраўноўванне па цэнтры);
- звесткі пра аўтара/аўтараў (навуковая ступень, званне, пасада);
- назва артыкула (друкуецца вялікімі літарамі без пераносаў; выраўноўванне па цэнтры);
- анатацыя ў аб'ёме ад 100 да 150 слоў на мове артыкула (курсіў, кегль – 10 pt.);
- звесткі аб навуковым кіраўніку (для аспірантаў і саіскальнікаў) указваюцца на першай старонцы артыкула ўнізе;
- асноўны тэкст, структураваны ў адпаведнасці з патрабаваннямі ВАКа да навуковых артыкулаў, якія друкуюцца ў выданнях, уключаных у Пералік навуковых выданняў Рэспублікі Беларусь для апублікавання вынікаў дысертацыйных даследаванняў (Уводзіны з пастаўленымі мэтай і задачамі; Асноўная частка, тэкст якой структуруецца падзагалоўкамі (назва раздзела «Асноўная частка» не друкуецца); Заключэнне, у якім сцісла сфармуляваны асноўныя вынікі даследавання, указана іх навізна);
- спіс выкарыстанай літаратуры; спіс выкарыстанай літаратуры дубліруецца ў лацінскім алфавіце (References), пры гэтым колькасць крыніц, прыведзеных у спісе, і ў References, павінна супадаць.
- рэзюмэ на англійскай мове (курсіў; да 10 радкоў, кегль – 10 pt.): назва артыкула, прозвішча і ініцыялы аўтара/аўтараў, тэзісны пераказ зместу артыкула; у выпадку калі аўтар падае матэрыял на англійскай мове, рэзюмэ – на рускай ці беларускай.

Да рукапісу артыкула абавязкова дадаюцца:

- звесткі пра аўтара на мове артыкула і англійскай мове (прозвішча, імя, імя па бацьку поўнасцю, вучоная ступень і званне, месца працы (вучобы) і пасада, электронны адрас і кантактныя тэлефоны);
- выпіска 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).

Рукапісы, афармленыя не ў адпаведнасці з выкладзенымі правіламі, рэдкалегіяй не разглядаюцца.

Аўтары нясуць адказнасць за змест прадстаўленага матэрыялу.

Карэктары *А. А. Іванюк, Л. М. Калілец*
Камп'ютарнае макетаванне *С. М. Мініч, Г. Ю. Пархац*
Падпісана ў друк 27.11.2020. Фармат 60×84/8. Папера афсетная.
Гарнітура Таймс. Рызаграфія. Ум. друк. арк. 19,76. Ул.-выд. арк. 14,34.
Тыраж 100 экз. Заказ № 342.
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.