

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Брестский государственный технический университет»

ICER – 2022

**АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ**

Сборник трудов
V Международной научно-практической конференции,
посвященной
50-летию кафедры природообустройства
26–28 октября 2022 года

ЧАСТЬ I

Брест 2022

УДК 574 (045) (476)
ББК 74.480л0
А43

Рецензенты:

Грядунова О. И., кандидат географических наук, доцент, заведующая кафедрой географии и природопользования УО «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина» (Брест, Беларусь)

Шведовский П. В., кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры геотехники и транспортных коммуникаций БрГТУ (Брест, Беларусь)

Редакционная коллегия:

Председатель Волчек А. А. – д.г.н., профессор, декан факультета инженерных систем и экологии БрГТУ (Брест, Беларусь).

Зам. председателя Мешик О. П. – к.т.н., доцент, зав. кафедрой природообустройства БрГТУ (Брест, Беларусь).

Члены редакционной коллегии:

Акулова О. А. – к.т.н., зав. кафедрой начертательной геометрии и инженерной графики БрГТУ (Брест, Беларусь); *Белов С. Г.* – к.т.н., доцент, зав. кафедрой водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов БрГТУ (Брест, Беларусь); *Борсук Н. Н.* – к.ф.н., доцент, зав. кафедрой белорусского и русского языков БрГТУ (Брест, Беларусь); *Новосельцев В. Г.* – к.т.н., доцент, зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции БрГТУ (Брест, Беларусь); *Тур Э. А.* – к.т.н., доцент, зав. кафедрой инженерной экологии и химии БрГТУ (Брест, Беларусь).

Научные редакторы:

Волчек А. А., доктор географических наук, профессор;
Мешик О. П., кандидат технических наук, доцент.

А43 Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. трудов V Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 50-летию кафедры природообустройства, Брест, 26–28 октября 2022 г. / Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. А. Волчек [и др.] ; науч. ред. А. А. Волчек, О. П. Мешик. – Брест : БрГТУ, 2022. – Ч. I. – 227 с.

ISBN 978-985-493-565-2

Сборник включает труды V Международной научно-практической конференции ICER – 2022 «Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания», которая проводилась 26–28 октября 2022 года на базе Брестского государственного технического университета.

Представленные материалы раскрывают проблемы рационального использования природных ресурсов, экологии, инженерии окружающей среды, в том числе, мелиорации, водопользования, энерго-и ресурсосбережения; предлагают новые информационные и образовательные технологии.

Материалы сборника трудов рассчитаны на специалистов в области экологии и природопользования, преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов высших учебных заведений.

Издается в 2 частях. Часть 1.

УДК 574 (045) (476)
ББК 74.480л0

ISBN 978-985-493-565-2

© Издательство БрГТУ, 2022

СЕКЦИЯ 1
ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ:
РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ,
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ В ПРЕДЕЛАХ МИКРОРАЙОНОВ ГОРОДА МИНСКА

М. А. Алиева¹, А. Е. Яротов², Т. В. Шлендер¹

¹Факультет географии и геоинформатики БГУ, Минск, Беларусь, m.alieva5030@gmail.com

²ОО «Белорусское географическое общество», Минск, Беларусь, yarotau@gmail.com

Аннотация

В данной статье рассмотрена классификация и особенности тепловых микроклиматических индексов. Впервые для Беларуси в тестовом режиме для двух микрорайонов г. Минска опробована микроклиматическая модель SkyHelios для определения фактора обзора неба (SVF) и средней температуры излучения (T_{mrt}), которые являются промежуточным звеном для получения значения термических индексов комфортности.

Ключевые слова: тепловой комфорт, тепловой баланс, тепловые индексы, микроклимат, фактор обзора неба, уровень теплового стресса.

MICROCLIMATIC MODELING THERMAL INDICES WITHIN MICRODISTRICTS OF MINSK CITY

M. A. Alieva, A. E. Yarotov, T. V. Schlender

Abstract

This article discusses the classification and features of thermal indices. The first microclimatic model SkyHelios was tested in a test mode for two microdistricts of Minsk to determine the Sky View Factor (SVF) and the average radiation temperature (T_{mrt}), which are an intermediate link for obtaining the values of thermal comfort indices.

Keywords: thermal comfort, thermal balance, thermal indices, microclimate, Sky View Factor, thermal stress level.

Введение. Климат городов характеризуется меньшим тепловым потоком испарения, более высоким уровнем поглощения коротко- и длинноволновой радиации, слабым воздухообменом и большим количеством тепла, выделяемого в атмосферу, что определяется феноменом городского острова тепла (УИТ) [1]. Большая часть людей в мире проживает в городах – согласно Отчету Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН уровень урбанизации в мире в 2018 году составил 55 %. Продолжающийся рост городов, городского населения и распространение городского уровня приведет к 75 % урбанизации населения мира жизни к 2050 году [2]. Доля городского населения в 2022 году в Беларуси составила 80,3 % [3].

На основе оценки уровня теплового комфорта в городах могут быть предприняты смягчающие меры (меры митигации), путем градостроительного планирования, изменения конфигурации застройки, применения других поверхностных материалов, озеленения [4].

Эффект метеорологических условий, влияющих на человека, часто количественно определяется с использованием тепловых индексов, основанных на энергетическом балансе человека [5, 6].

Тепловые условия для человека зависят не только от температуры воздуха, а также от влажности (давления водяного пара), скорости ветра и потоков радиации – коротковолновой и длинноволновой [4].

Физиологически-термальные условия анализируются в городах по всему миру в порядке оценки преобладающих микроклиматических условий для количественной оценки мер митигации (смягчения последствий и адаптации) [7, 8, 9, 10].

Целью работы является получение промежуточных микроклиматических моделей двух микрорайонов города Минска.

Материалы и методы. Изучение прямых и косвенных связей между геофизическими факторами среды и организмом человека – одна из задач биометеорологии человека, возникшей на стыке метеорологии, геофизики и биологии.

Базис биометеорологических исследований – это уравнение теплового баланса человека

$$M + W + R + C + ED + ERe + ES_w + S = 0, \quad (1)$$

где M – скорость обмена веществ; W – теплоотдача при физической работе; C – конвективный поток тепла; ED – поток скрытого тепла, расходуемого на потоотделение; ERe – сумма потоков тепла, направленных на нагрев и увлажнение вдыхаемого воздуха; ES_w – поток тепла, идущий на испарение пота; S – аккумуляция энергии, используемой для нагревания или охлаждения организма из уравнения, описывающего поток тепла FSC , направленный через слой одежды от кожи к поверхности одежды $FSC = (1/Icl) \times (Tsk - Tcl)$, где Icl – термостойкость одежды ($K \cdot m^2 / Вт$); Tcl – средневзвешенная температура поверхности одежды; Tsk – средневзвешенная температура кожи [5].

Из тождества (1) можно выделить четыре группы факторов теплового баланса: физиологический, метеорологический, фактор теплозащитных свойств одежды, физических нагрузок.

Для определения мощности и направления радиационных потоков используют приближение атмосферы города в виде полусферы, отношение солнечной радиации, получаемой точкой на плоскости, при учете данной формы внешней среды также называется фактором обзора неба (Sky View Factor, SVF), является показателем закрытости горизонта [11]

$$\Psi_s = \sum_{i=1}^n \sin^2 \beta_i \left(\frac{\alpha_i}{360^\circ} \right), \quad (2)$$

где β – угол возвышения (зенит); α – азимут.

Значение фактора изменяется в диапазоне от 0 до 1. При $SVF = 1$ можно утверждать, что в системе «поверхность-небо (атмосфера)» нет существенных препятствий, при значении $SVF = 0$ испускаемое поверхностью коротковолновое излучение не идет вверх в тропосферу, а блокируется препятствиями [3].

В последних исследованиях SVF играет важную роль в анализе микроклимата. Точное распределение значения SVF играет важную роль в соотношении влияния конфигурации застройки к тепловой среде городов.

В работе [16] рассматривается наиболее полный список тепловых индексов, разработанных за последние 100 лет – всего 162 индекса. Все индексы были разбиты на восемь первичных классов.

Индексы также можно разделить на тепловые и тепло-физиологические (таблица 1). Тепловые индексы рассчитываются на основе только метеорологических параметров, большая часть тепло-физиологических индексов разрабатывалась исходя из уравнения (1), то есть учитывают физиологический фактор путем введения обобщенной модели человека и фактор одежды.

RayMan и SkyHelios – открытое программное обеспечение для построения микромасштабных климатических моделей, подразумевающих прежде всего вычисление фактора обзора неба (SVF – показателя закрытости горизонта). На его основе оценивается продолжительность солнечного сияния, затенение и радиация в каждой точке. Помимо этих показателей данные ПО способны оценить тепло-физиологические индексы (таблица 1).

Таблица 1 – Тепло-физиологические индексы

Индекс	Определение	Уравнение теплового баланса
Воспринимаемая температура (Perceived Temperature – PT) [13]	температура воздуха в типичных условиях, при котором тепловое восприятие такое же, как и в реальной среде	$M - W_o = (C + R + E_{sk}) + (C_{res} + E_{res}) + S_{sk} + S_{cr}$, где M – скорость обмена веществ; W_o – теплоотдачи при физической работе; C – конвективный поток тепла; R – радиация; $E_{Res, sk, cr}$ – скрытая теплота респираторной системы, кожи, сердечно-сосудистой системы; S – накопленная энергия (можно пренебречь)
Эквивалентно-физиологическая температура (PET) [14]	температура воздуха, при которой в типичных условиях внутри помещения (без действия ветра и солнца) энергетический баланс человеческого тела сбалансирован с температурой тела и кожи снаружи	$M + W_o + R + C + E_{sk} + E_{res} + E_{sw} + S = 0$
Универсальный индекс теплового комфорта (UTCI) [15, 16]	температура воздуха, которая в типичных условиях могла вызвать такую динамическую нагрузку физиологической модели, что и реальная среда	$M - W - [Q_H(Ta, v) + Q^*(Tmrt)] - [Q_L(e, v) + Q_{sw}(e, v)] - Q_{re}(Ta, e) \pm S = 0$, где $Q_H, *, L, SW, Re$ – кожный теплообмен турбулентный, радиационный, скрытой теплоты, потоотделения и теплообмен респираторной системы (явная и скрытая теплота) [16]

Результаты и обсуждение. Были рассмотрены территории двух микрорайонов города Минска – микрорайона Каменная Горка-4 и Сосновый квартал Новой Боровой (рисунок 1), находящимися в пределах городской черты и в 250 м от нее соответственно.

Важно также указать день, время и погодные условия. В нашем случае – это 23 июня 2021 года, 9:00 утра. Июнь 2021 года в Беларуси характеризовался положительно аномальными температурами (выше климатической нормы на 3,5°C. В конце месяца на территории страны была волна жары [21]. Исходными материалами являлись векторные слои зданий с внесенным атрибутом этажности, а также данные архивов погоды – температура воздуха, влажность, облачность, скорость и направление ветра [22].

Конечным результатом моделирования являются значения фактора обзора неба (SVF) и средняя температура излучения (T_{mrt}), они являются промежуточным звеном для получения значения термических индексов, представлены в виде картосхем (рисунок 1, рисунок 2).

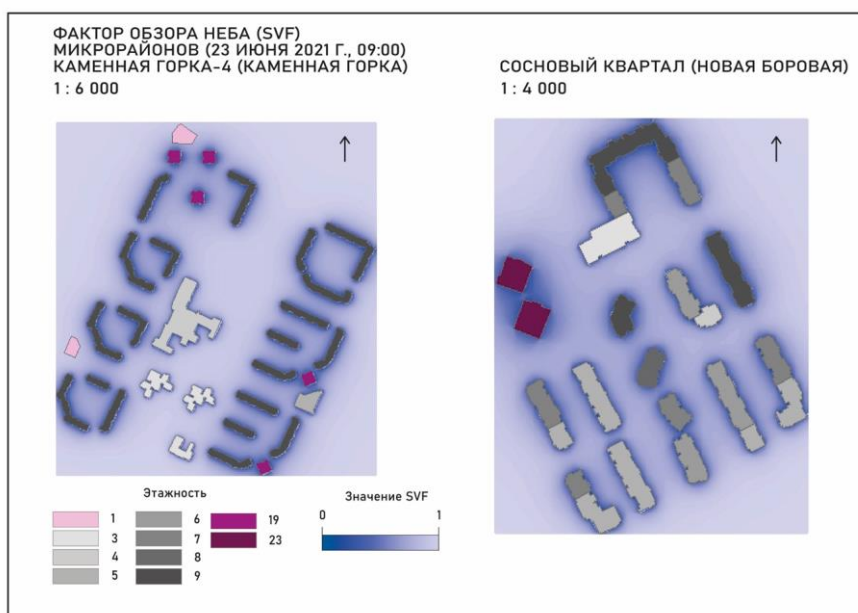


Рисунок 1 – Фактор обзора неба

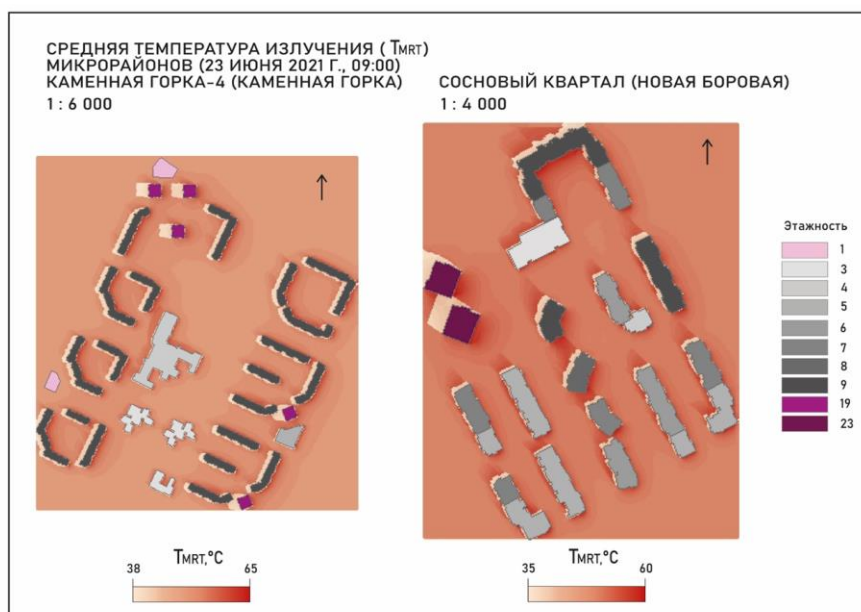


Рисунок 2 – Средняя температура излучения

Закключение. На данном этапе были построены две микроклиматические модели микрорайонов Минска в SkyHelios, ранее не применяемом для исследований микроклимата города, но позволяющим быстро получить биоклиматические данные для дальнейшего анализа и принятия решений.

Список цитированных источников

1. Oke, T. R. *Boundary Layer Climates*; Routledge: Abington-on-Thames, UK, 2002.
2. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420)*. New York: United Nations.
3. *World Population Review* [Электронный ресурс] – Режим доступа: Most Urbanized Countries 2022 (worldpopulationreview.com) – Дата доступа: 20.05.2022.
4. Fröhlich, D., Matzarakis, A. (2018) Spatial Estimation of Thermal Indices in Urban Areas—Basics of the SkyHelios Model. *Atmosphere*.
5. Gagge, A.; Fobelets, A.; and Berglund, L., (1986): A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE Transactions* (92), 709–731.
6. Höppe, P. R. (1999): The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int J Biometeorol* 43, 7.
7. Jendritzky, G.; Dear, de R.; and Havenith, G., (2012): UTCI-Why another thermal index? *Int J Biometeorol* (56), 421–428.
8. Lin, T.-P. and Matzarakis, A., (2011): Estimation of outdoor mean radiant temperature by field experiment and modelling for human-biometeorology use. In: *Proceedings of the 11th annual meeting of the European Meteorological Society, 2011–2089*. Berlin, Germany.
9. Fröhlich, D. and Matzarakis, A., (2013): Modeling of changes in thermal bioclimate: examples based on urban spaces in Freiburg, Germany. *Theoretical and Applied Climatology* (111), 547–558. DOI: 10.1007/s00704-012-0678-y.
10. Charalampopoulos, I.; Tsiros, I.; Chronopoulou-Sereli, A.; and Matzarakis, A., (2013): Analysis of thermal bioclimate in various urban configurations in Athens, Greece. *Urban Ecosystems* 16(2), 217–233. DOI: 10.1007/s11252-012-0252-5.
11. Matzarakis, Andreas Matuschek, Olaf. (2011). Sky view factor as a parameter in applied climatology - Rapid estimation by the SkyHelios model. *Meteorologische Zeitschrift*. 20. 39-45. 10.1127/0941-2948/2011/0499.
12. C. R. de Freitas & E. A. Grigorieva (2015) A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices *Int J Biometeorol* 59:109–120 DOI 10.1007/s00484-014-0819-3.
13. Jendritzky G, Staiger H, Bucher K, Graetz A, Laschewski G. (2000) The perceived temperature—the method of the Deutscher Wetterdienst for the assessment of cold stress and heat load for the human body. In: *Internet Workshop on Windchill, hosted by Environment Canada, April 3–7, 2000*.
14. Mayer H, Höppe P (1987) Thermal comfort of man in different urban environments. *Theor Appl Climatol* 38:43–49.

15. Jendritzky G, Havenith G, Weihs P, Batchvarova E (2009) Towards a Universal Thermal Climate Index UTCI for assessing the thermal environment of the human being. Final Report COST Action 730, Freiburg.
16. Jendritzky G, de Dear R, Havenith G (2012) UTCI—why another thermal index? *Int J Biometeorol* 56(3):421–428.
17. VDI, (2008): VDI Guideline 3787, Part 2: Environmental Meteorology. Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level. Part I: Climate. VDI.
18. Staiger, H.; Laschewski, G.; and Graetz, A., (2012): The perceived temperature - a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics. *International Journal of Biometeorology* 56(1), 165–176. doi: 10.1007/s00484-011-0409-6.
19. Matzarakis, A.; Mayer, H.; and Iziomon, M. G., (1999): Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology* 43(2), 76–84. DOI: 10.1007/s004840050119.
20. Matzarakis, A. and Mayer, H., (1996): Another kind of environmental stress: Thermal stress. *WHO Newsletter* (18), 7–10.
21. Климатическая характеристика июня 2021 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belgidromet.by/ru/climatolog-ru/view/klimaticheskaja-karakteristika-ijunja-2021-goda-4361-2021/>. – Дата доступа : 20.05.2022.
22. Архив погоды – Беларусь – Минск [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/weather.php?id=26850> – Дата доступа : 20.05.2022.

УДК 631.674

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПОЛИВНЫХ НОРМ ПРИ ОРОШЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

А. С. Анженков, А. П. Лихацевич, Г. В. Латушкина

РУП «Институт мелиорации», Минск, Беларусь, nimel@mail.ru

Аннотация

Разработана методика определения оптимальных поливных норм, которая позволяет установить наиболее экономически выгодное соотношение между прибавкой урожая и суммарными затратами на ее получение на орошаемом поле с учетом технико-экономических показателей конкретной оросительной системы.

Ключевые слова: методика, поливная норма, сельскохозяйственные издержки, водно-физические свойства почв, затраты на орошение.

DETERMINATION OF OPTIMUM IRRIGATION RATES FOR IRRIGATION OF AGRICULTURAL PLANTS

A. S. Anzhenkov, A. P. Likhatsevich, G. V. Latushkina

Abstract

Work out the methodology for determining the optimal irrigation norms allows us to establish the most economically advantageous ratio between the increase in yield and the total costs of obtaining it in an irrigated field, taking into account the technical and economic indicators of a specific irrigation system.

Keywords: methodology, irrigation rate, agricultural costs, water-physical properties of soils, irrigation costs.

Введение. Рентабельность производства, в том числе сельскохозяйственного, определяется соотношением расходов и выручки. Использование относительно затратных поливов, при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях ограниченных ресурсов, требует поиска наиболее эффективного режима орошения, позволяющего обеспечить максимально возможную экономическую отдачу и быструю окупаемость вложенных инвестиций в данное мероприятие.

Значительный экономический интерес представляет уменьшение затрат на проведение орошения. Данные показатели в значительной мере зависят от величины поливной нормы.

Результаты исследований режимов орошения сельскохозяйственных культур в регионах с периодическим недостатком естественной влагообеспеченности свидетельствуют о существенной зависимости урожая от степени увлажнения почвы. Однозначно установлено, что с повышением уровня увлажненности почвы пропорционально растет и урожайность орошаемой культуры, если при этом отсутствует переувлажнение и обеспечен свободный воздухообмен в корнеобитаемой зоне. Наиболее благоприятная влагообеспеченность для растений при орошении достигается за счет проведения более частых поливов меньшими нормами, что, в свою очередь, приводит к увеличению числа поливов в течение вегетационного периода.

В настоящее время, при назначении величины поливной нормы принято учитывать только мощность корнеобитаемого слоя орошаемой культуры и водоудерживающую способность почвы, ориентируясь на нижний предел ее «оптимальной» влажности – так называемую критическую влагоемкость [1]. Однако при таком подходе «за скобками» остается вопрос ожидаемой экономической эффективности.

Для перехода от технического нормирования орошения к технико-экономически обоснованному разработана методика определения оптимальных поливных норм, обеспечивающих получение максимальной прибыли с учетом затрат на полив и стоимости прибавок урожаев от орошения. Данная методика позволит устанавливать экономически обоснованные режимы орошения и планировать поливы нормой, дающей максимальный эффект. Особенно актуальна данная методика для культур с высокой рыночной стоимостью, для которых будет получен наибольший прирост чистого дохода от использования разработанной методики.

Материалы и методы. Для определения технико-экономически обоснованных поливных норм используются показатели, охватывающие весь

спектр сельскохозяйственных издержек на возделывание, уборку, транспортировку, хранение, доработку и реализацию растениеводческой продукции, а также затрат на ее орошение, учитывая которые можно обеспечить получение такой прибавки урожая, которая принесет хозяйству наиболее высокую чистую прибыль.

В перечень этих показателей включены: водно-физические свойства в увлажняемом при поливе корнеобитаемом слое почвы (наименьшая влагоемкость и влагозапасы завядания), определяемые по стандартным методикам или справочной литературе [2]; цена реализации выращиваемой на орошаемом поле сельскохозяйственной продукции (руб./т); затраты на уборку, транспортировку, хранение, доработку и реализацию продукции, определяемые на основе нормативных материалов, содержащихся в типовых технологических картах или на основе соответствующих средних затрат, фактически складывающихся в хозяйстве (руб./т); прогнозный максимальный урожай сельскохозяйственной культуры, который может быть получен при оптимальном водном режиме с учетом всех факторов сельхозпроизводства (потенциал семенного материала, дозы удобрений, техника и технология возделывания, плодородия почвы и т. д.), т/га; коэффициент полезного действия (КПД) оросительной системы; объем воды, забираемой из водосточника насосной станцией для орошения культуры на данном объекте за один час, м³/час; средние затраты на 1 час проведения орошения (зависящие от конструкции оросительной системы), руб./га. *Для действующей оросительной системы все поименованные выше показатели устанавливаются непосредственно в хозяйстве с привлечением почвенных карт, данных бухгалтерской отчетности по орошаемым культурам и справочных данных по водно-физическим свойствам орошаемых почв, технике, режимам и технологиям орошения сельскохозяйственных культур. Для проектируемой оросительной системы вышеуказанные показатели устанавливаются проектной организацией с привлечением почвенных карт, данных бухгалтерской отчетности хозяйства на объекте проектирования, по справочным данным и объектам-аналогам.*

Результаты и обсуждения. Расчет технико-экономически обоснованной поливной нормы при орошении сельскохозяйственных культур в открытом грунте осуществляется по теоретически обоснованной зависимости, объединяющей водно-физические свойства почв, технические и технологические характеристики поливной техники и экономические показатели орошения сельскохозяйственных культур

$$m_o = \frac{b(W_{\text{НВ}} - W_{\text{ВЗ}})^2}{2a^2\eta(c-r)Y_m} \left(c_{\text{В}} + \beta \frac{C_{\text{П}}}{Q} \right), \quad (1)$$

где m_o – технико-экономически обоснованная поливная норма, м³/га; b – коэффициент, зависящий от водоудерживающей способности почвы и имеющий размерность «полив»: для овощных культур, возделываемых на песчаных почвах, он равен 3,2, на супесчаных почвах – 2,5, на суглинистых почвах – 2,3; $W_{\text{НВ}}$ – оптимальные влагозапасы, соответствующие наименьшей влагоемкости почвы,

$\text{м}^3/\text{га}$; $W_{\text{ВЗ}}$ – влагозапасы завядания, $\text{м}^3/\text{га}$; a – коэффициент, зависящий от режима и технологии орошения и имеющий размерность «полив»: при дождевании по общепринятой технологии коэффициент $a = 0,75$; η – коэффициент полезного действия оросительной системы, учитывающий потери поливной воды при проведении поливов (при поливе дождеванием потери воды в зависимости от условий проведения полива составляют 0,94–0,85 %); c – цена реализации продукции растениеводства, руб./т; r – затраты на уборку, доработку, транспортировку, хранение и реализацию прибавки урожая, руб./т; Y_m – максимальная урожайность культуры, которую можно получить при оптимальном водном режиме почвы, т/га; $c_{\text{В}}$ – стоимость воды, забираемой из водоисточника для проведения орошения при платном водопользовании, руб./ м^3 (в Беларуси в настоящее время $c_{\text{В}} = 0$); β – норматив превышения суммарного времени, затраченного на полив, техническое обслуживание поливной техники и ремонты, над временем, затраченным только на подачу оросительной воды насосной станцией; $C_{\text{П}}$ – суммарные затраты средств за 1 час работы всей оросительной системы (электроэнергия, топливно-смазочные материалы, заработная плата обслуживающему персоналу, включая насосную станцию и оросительную технику, затраты на ремонты, техническое обслуживание оросительной системы во время полива, со всеми налогами), руб./ч; Q – расход воды, подаваемый насосной станцией в оросительную систему из водоисточника, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Средние затраты за 1 час проведения орошения, зависящие от конструкции оросительной системы, определяются по фактическим данным прошлых лет в хозяйстве или по объектам-аналогам

$$C_{\text{П}} = C_{\text{В}} + C_{\text{ГСМ}} + C_{\text{ЭЛ}} + C_{\text{РАБ}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{П}}$ – суммарные затраты средств на 1 час работы оросительной системы (с учетом налогов), руб./ч; $C_{\text{В}}$ – затраты на оросительную воду, поданную насосной станцией из водоисточника за 1 час работы оросительной системы, руб./ч; $C_{\text{ГСМ}}$ – затраты на горюче-смазочные материалы за один час работы, руб./ч; $C_{\text{ЭЛ}}$ – затраты на электроэнергию за один час работы, руб./ч; $C_{\text{РАБ}}$ – затраты персоналу за перекачку воды, обслуживание оросительной техники, выполнение поливов, проведение ремонтов оросительной системы (с учетом налоговых отчислений) за один час работы, руб./ч.

Затраты на поливную воду, поданную за 1 час работы оросительной системы, появляются при платном водопользовании. Они равны

$$C_{\text{В}} = c_{\text{В}} Q, \quad (3)$$

где $c_{\text{В}}$ – стоимость воды, забираемой для полива насосной станцией из водоисточника (с учетом налогов), руб./ м^3 ; Q – расход насосной станции (объем воды, поданной за 1 час в оросительную систему из водоисточника для орошения данной культуры), $\text{м}^3/\text{ч}$.

Для действующей оросительной системы объем воды, поданной за 1 час в оросительную систему из водоисточника для орошения данной культуры, равен нормативному расходу оросительной техники, проводящей полив. Для проектируемой оросительной системы он соответствует водопотреблению орошаемой культуры

$$Q = \frac{\varepsilon_p F_{\text{HT}}}{\eta K_6}, \quad (4)$$

где ε_p – расчетная интенсивность водопотребления орошаемой культуры с единицы площади, $\text{м}^3/(\text{га}\cdot\text{ч})$; F_{HT} – площадь орошаемого участка (нетто), га; K_6 – коэффициент, учитывающий потери времени на холостые перебазировки оросительной техники.

Затраты ($C_{\text{ГСМ}} + C_{\text{ЭЛ}} + C_{\text{РАБ}}$) за один час проведения орошения с учетом налоговых отчислений устанавливаются для действующей оросительной системы непосредственно в хозяйстве с привлечением данных бухгалтерской отчетности по орошаемым культурам и справочных данных по технике, режимам и технологиям орошения сельскохозяйственных культур. Для проектируемой оросительной системы указанные выше показатели устанавливаются проектной организацией с привлечением бухгалтерской отчетности хозяйства на объекте проектирования и по справочным данным.

Для расчета технико-экономически обоснованной поливной нормы при орошении культур в открытом грунте можно также использовать формулу, подобную (1), но более простую с позиции сбора исходных данных

$$m_o = \frac{b(W_{\text{HB}} - W_{\text{BЗ}})^2}{2a^2\eta(c-r)Y_m} \left(c_B + \frac{Z}{M_{\text{БР}}} \right), \quad (5)$$

где Z – суммарные затраты на орошение в конкретный год (электроэнергия, топливно-смазочные материалы, заработная плата обслуживающему персоналу, включая насосную станцию и оросительную технику, затраты на ремонты, техническое обслуживание оросительной системы во время полива, со всеми налогами), руб./га; $M_{\text{БР}}$ – количество воды, забираемой из водоисточника для орошения в тот же год, $\text{м}^3/\text{га}$.

Количество воды, забираемой из водоисточника для орошения можно определить по производительности насосной станции

$$M_{\text{БР}} = \frac{QT}{F}, \quad (6)$$

где Q – расход (объем) воды, подаваемый насосной станцией из водоисточника, $\text{м}^3/\text{ч}$; T – продолжительность работы насосной станции в конкретном году, ч, F – орошаемая площадь, га.

Суммарные затраты на орошение (Z) в конкретном году и количество воды, забранной из водоисточника для орошения культуры в том же году, можно получить из бухгалтерской отчетности хозяйства.

В качестве примера ниже представлен расчет оптимальных технико-экономически обоснованных поливных норм на основе данных среднесезонных показателей по урожайности ряда сельскохозяйственных культур и затратам на их производство в хозяйствах, применяющих орошение (таблица 1). Расчет выполнен для трех овощных культур (капуста среднепоздних сортов, морковь столовая, лук репчатый) и картофеля, возделываемых на

дерново-подзолистых суглинистых почвах, подстилаемых легким суглинком. Орошение на полях с овощными культурами осуществляется мобильной шланговой дождевальными машинами ПДМ-2500, агрегируемой с трактором МТЗ-82. Для забора воды из открытого водоемника используется дизель-насосная установка.

Влагозапасы в корнеобитаемом слое (0–50) см для дерново-подзолистых суглинистых почв при насыщении до наименьшей влагоемкости ($W_{НВ}$) равны $1600 \text{ м}^3/\text{га}$, влагозапасы устойчивого завядания $W_{ВЗ}$ составляют $400 \text{ м}^3/\text{га}$ (это минимальные, недоступные для растений влагозапасы в расчетном слое почвы).

Приводим пример расчета m_0 по зависимости (1) для лука репчатого при планируемой урожайности 60 т/га с использованием показателей, представленных в таблице 1:

Таблица 1 – Хозяйственные показатели

№ п/п	Показатели	Ед. изм.	Орошаемая культура			
			капуста поздних и среднепоздних сортов	морковь столовая	лук репчатый	картофель
1	планируемая урожайность	т/га	75	60	45	60
2	планируемая прибавка урожая от орошения	т/га	36	23	15	30
3	цена реализации продукции	руб/т	400	420	550	500
4	затраты на уборку, транспортировку, хранение, реализацию и др.	руб/т	52	47	40	50
5	затраты на поливы, обслуживание и ремонт оросительной системы, плановые накопления	руб/ч	54	54	54	54
6	оросительная норма	м ³ /га	1200	900	500	1150
7	расход дождевальной машины ПДМ-2500	м ³ /ч	50	50	50	50
8	Коэффициент a	–	0,75	0,75	0,75	0,75
	Норматив β	–	1,25	1,25	1,25	1,25

$$m_0 = \frac{2,3 \cdot (1600 - 400)^2}{2 \cdot 0,75^2 \cdot 0,85 \cdot (550 - 40) \cdot 60} \cdot \left(0 + 1,25 \cdot \frac{54}{50} \right) = 155 \text{ м}^3 / \text{га} .$$

Водопользование для сельхозпредприятий в настоящее время бесплатное, то есть $c_B = 0$. Затраты на уборку, доработку, транспортировку и реализацию продукции растениеводства могут определяться при помощи расчетов на основе нормативных материалов, содержащихся в типовых технологических картах или на основе соответствующих средних затрат, фактически складывающихся в хозяйстве. Полученное значение оптимальной технико-экономически обоснованной поливной нормы округляется до величины, кратной $5 \text{ м}^3/\text{га}$.

Расчеты свидетельствуют, что для повышения прибыли, получаемой от орошения сельскохозяйственных культур с высокой рыночной стоимостью, предполагается ужесточение режима орошения путем снижения поливных норм и соответственного уменьшения межполивных интервалов с увеличением числа поливов. Для подтверждения данной закономерности в качестве примера в таблице 2 приведены результаты расчета оптимальных технико-экономически обоснованных поливных норм (m_0) для нескольких культур – капусты среднепоздних сортов, моркови столовой, лука репчатого и картофеля, возделываемых на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах для трех уровней планирования урожайности.

Таблица 2 – Оптимальные технико-экономически обоснованные поливные нормы, рассчитанные с использованием хозяйственных показателей (таблица 1), м³/га

№ п/п	Орошаемая сельскохозяйственная культура	Оптимальная технико-экономически обоснованная поливная норма нетто при планируемой урожайности, м ³ /га		
		75 т/га	60 т/га	45 т/га
1	капуста среднепоздних сортов	180	225	300
2	морковь столовая	170	210	280
3	лук репчатый	125	155	205
4	картофель	140	170	230

При небольших оптимальных поливных нормах альтернативой дождеванию может выступить капельный полив, для которого полив малыми нормами не вызывает технологических сложностей.

Заключение. Представленная методика определения оптимальных поливных норм при орошении сельскохозяйственных культур с помощью дождевания позволяет устанавливать экономически обоснованные режимы орошения при планировании поливов нормой дающей максимальный эффект. Данная методика особенно актуальна для культур с высокой рыночной стоимостью, для которых будет получен наибольший прирост чистого дохода от использования разработанной методики.

Список цитированных источников

1. ТКП 45.3.04 – 178 – 2009 (02250) Оросительные системы. Правила проектирования.
2. Методические указания по определению водно-физических свойств почвогрунтов мелиорируемых земель. – Минск, 1973. – 83 с.

УДК 728.8.03(476.7)

ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ВИДОВОГО РАЗНООБРАЗИЯ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ИСТОРИЧЕСКИХ ПАРКОВ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ

С. В. Басов, Э. А. Тур, В. Н. Босак, Е. К. Антонюк

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
basovs@mail.ru

Аннотация

Получены и оценены результаты многолетних наблюдений за видовым разнообразием древесно-кустарниковой растительности на различных участках территорий ряда исторических парков Брестской области.

Ключевые слова: исторические парки, видовое разнообразие, древесно-кустарниковая растительность, водно-эрозионные процессы, лесомелиоративные мероприятия.

ISSUE OF MAINTAINING THE SPECIES DIVERSITY OF TREE AND SHRUB VEGETATION IN THE HISTORIC PARKS OF BREST REGION

S. V. Basov, E. A. Tur, V. N. Bosak, E. K. Antoniuk

Abstract

There have been obtained and estimated results of long-term investigations the species diversity of tree and shrub vegetation at different sites in several historic parks of Brest region.

Keywords: historical parks, water erosion processes, forest reclamation activities, species diversity, tree and shrub vegetation.

Введение. Исторические парки, формирование которых проходило в русле развития общемировой культуры, с учетом местных традиций, а также природных и социально-экономических условий и эстетических вкусов владельцев, являются одним из основных элементов культурных ландшафтов, которые с 1993 г. вносятся в Список всемирного наследия [1, 2].

Важную роль, особенно в планировочном решении дворцово-парковых комплексов, играли формы рельефа местности, гидрологические и эдафоклиматические условия, а также видовое разнообразие древесно-кустарниковой растительности на их территориях.

На территории Брестской области в различной степени сохранилось 99 исторических парков, из которых особый статус имеют 24 памятника природы и 25 являются памятниками истории республиканского, областного или местного значения [3–8]. Наибольшее количество сохранившихся к настоящему времени в различной степени аутентичности объектов паркового и природного наследия расположены в Пружанском, Ляховичском и Барановичском районах, в которых расположено по 11 объектов, а также в Березовском, Кобринском, Каменецком и Пинском районах – по 7 объектов [6].

Более 30 старинных парков связаны с именами знаменитых исторических деятелей и носят статус мемориальных (Скоки – Брестского, Высокое – Каменецкого, Камень Филаретов, Тугановичи, Заосье, Крашин, Павлиново, Полонечка, Ястрембель – Барановичского, М.Сехновичи – Жабинковского, Грушево – Кобринского, Грушевка, Флорианово Ляховичского, Закозель – Дрогичинского районов и т.д. [1, 4, 7–9].

Проблеме сохранения и целевого использования старинных парков и памятников природы на территории Брестской области уделяется большое внимание.

В 1997 г. было принято специальное решение Брестского облисполкома «Аб першапачатковых мерах па захаванню і аднаўленню найбольш значных старадаўніх паркаў вобласці» [6], благодаря реализации которого проведена большая работа по благоустройству исторических парков. На сегодняшний день около трети таких парков используются в качестве объектов отдыха, туризма и краеведения. Ярким примером этого является проделанная в парке им. 1 мая в

г. Бресте работа по благоустройству территории, укреплению откосов, очистке водоемов, прореживанию парка с уборкой малоценных пород, обновлению газонов, цветочных клумб и т.д.

Научный интерес авторов к проблеме влияния различных факторов на сохранение и комплексное использование территорий исторических парков в значительной степени обусловлен проведенным нами в 2015-2019 гг. исследовании участков территорий государственного историко-культурного учреждения «Гомельский дворцово-парковый ансамбль» [10, 11].

К сожалению, практически во всех исторических парках в нашей стране, необходимая работа по благоустройству и поддержанию на должном уровне состояния территорий оставляет желать лучшего [12, 16]. Это, прежде всего, касается бывших дворцово-парковых комплексов, где из-за отсутствия финансовых средств постепенно разрушаются здания усадебных домов постройки XVIII, XIX – начала XX веков и одновременно с этим дичают и приходят в запустение парковые территории (Высокое, Гремяча Каменецкого, Павлиново, Тугановичи Барановичского, Кабаки, Сигневичи Березовского, Грушево Кобринского, Заполье, Дубое Пинского районов и др.).

Как справедливо указывает А. Т. Федорук, каждая усадьба и исторический парк – это особый культурно-исторический и экономический пласт, тесно связанный с историей и жизнью других усадеб и страны в целом. Несмотря на потери и разрушения, практически за каждым историческим парком, даже если находящиеся в нем дворцы и другие усадебные постройки оказались в руинах, стоят философия, поэзия, архитектура, мода, быт и нравы той или иной эпохи [1]. Исторические парки исследованные авторами – это жизнь, деятельность и творческое вдохновение Юлиана Немцевича, Тадеуша Костюшко, Наполеона Орды, Станислава Августа Понятовского и многих других – Сапег, Пусловских, Потоцких, Чарторыйских, Огинских, Пузынов и т.д., а также огромного числа других людей, жизнь которых была тем или иным образом в разное время связана с этими территориями.

Цель данного исследования состояла в оценке результатов многолетних наблюдений за видовым разнообразием древесно-кустарниковой растительности на различных участках территорий ряда исторических парков Брестской области.

Материалы и методы. Объектами исследования в настоящей работе являлись территории ряда исторических парков Брестской области: Скоки, Малые Зводы Брестского района, Высокое и Гремяча Каменецкого района, Коссово Ивацевичского района. Выбор именно этих объектов был обусловлен возможностью их регулярного посещения с целью изучения динамики различных процессов происходящих на их территориях.

Основным методом исследования в данной работе являлся многолетний мониторинг и наблюдение за динамикой изменения видового разнообразия древесно-кустарниковой растительности на различных участках территорий указанных исторических парков.

Мемориальный дворцово-парковый ансамбль в Скоках – усадьба Немцевичей в настоящее время активно восстанавливается. На основной планировочной оси

парка площадью около 5 га сохранились почти все основные элементы его исторической композиции. В центральной части парка существует трехрядная аллея и три поляны, обсаженные и декорированные различными породами деревьев и кустарников [1, 4, 5, 7–9].

Парк в Малых Звездах детально изучил и описал А. Т. Федорук [1]. К настоящему времени в нем хорошо прослеживаются основные элементы его планировки. Наиболее интересной является поляна, обсаженная экзотичными породами, с которой открывается перспектива на большой пруд с островом. Хорошо сохранилась въездная аллея, а также парковые липовые и каштановые аллеи, общей длиной более 600 м [4]. Несмотря на время и хозяйственную деятельность, в парке хорошо сохранились многие вековые деревья – липы, клены, белые акации, сосна черная австрийская, липа крымская, буки высотой более 20 м, которые меняют свой цвет от зеленого весной, до темно-красного летом и золотисто-бронзового осенью.

Формирование парка в г. Высокое началось одновременно со строительством дворца Сапегов – с 1678 г. и продолжалось при возведении резиденции Потоцких. Композиция парка с течением времени менялась. Старый парк, с прудом, был окружен рвами и валами, а новый, заложенный в первой половине XIX века, воплощал лучшие традиции пейзажного стиля [1, 4, 7, 8].

Относительно небольшой – около 5 га парк в Гремяче занимает часть склона пригорка около реки Пульвы. Симметрично дворцу – каменному одноэтажному дому (вторая половина XIX в.) – растут две лиственницы европейские и несколько сосен. За небольшим парковым партером находится пейзажная часть парка с великолепной окружающей перспективой и видом на реку Пульву [1, 4, 7, 8].

Дворцово-парковый ансамбль в г. Коссово в настоящее время также, как и в Скоках, активно реставрируется, в том числе, постепенно возрождается великолепный парк. Исторически часть этого парка с тыльной стороны дворца по крутому склону была спланирована в виде трех террас. Крутые склоны террас (перепад между первой и второй террасами составляет около четырех метров) были закреплены ковром газона, который прочно удерживал их форму [1, 4, 7, 8].

Результаты и обсуждение. Видовое разнообразие древесно-кустарниковой растительности исследованных исторических парков формировалось длительное время с момента формирования дворцово-парковых комплексов.

Дворцово-парковый комплекс в Скоках, частично дошедший до наших дней, был сформирован в формах уходящего барокко. Он имеет симметрично-осевое построение и в плане вытянутый прямоугольник площадью около 5 га [1].

На основной планировочной оси расположены все элементы композиции, в том числе и главная парковая грабовая аллея. В центральной части она трехрядная, во второй половине парка коридоры становятся шире и примерно в два раза выше. В настоящее время деревья значительно переросли и приняли экзотическую форму и вид, некоторые из них находятся в аварийном состоянии, а западный участок парка почти полностью утрачен. Продолжением зеленых коридоров является широкая липовая аллея с расположением деревьев с шагом около 5 м. В настоящий момент сохранилось всего только около 20 деревьев.

Приблизительно в центральной части парка располагался небольшой канал (ныне утраченный), обсаженный плодовыми деревьями. Рядом с каналом выращивались самшит, полынь метельчатая, божье дерево – многолетний полукустарник высотой до 1,5 м, с трижды перисторассеченными листьями на прямых полуодревесневших стеблях, шалфей, рута, ирисы.

В восточной части парка композиционную основу составляли три поляны. Первая, самая большая, была окружена небольшими древесными группами из клена и граба. За каналом располагалась аналогично оформленная вторая поляна. Третья поляна замыкала парк и была обсажена боярышником, сиренью и спиреями. В настоящее время кустарники разрослись, древесные группы во многих местах, сомкнулись и приняли вид одичавших насаждений с разреженным древостоем старых деревьев, подлеском и подростом.

Следует отметить, что в последние несколько лет, в парке регулярно ведутся лесомелиоративные мероприятия по сохранению его видового разнообразия, обновлению и постепенному возвращению, по возможности, к первоначальному облику.

Усадьба в Малых Звездах площадью около 7 га была заложена в 1875 г. на ровной плоской местности [1, 4, 8]. В 1890 г. в парке была проведена существенная перепланировка по проекту известного архитектора В. Кроненберга [8]. По замыслу автора проекта усадьба пересекалась липовой аллеей, вдоль которой с двух сторон располагался небольшой пейзажный парк. В парке имелось большое количество иноземных деревьев – одиночными особями представлены лиственницы, сосна черная, липа крымская, тополь канадский. Разрослись от самосева рябинник, спирея Бияра, чубушник венечный. Особо ценными растениями парка, с характерной темно-пурпурно-красной окраской листьев, являются два бука лесных, высотой около 20 м и диаметром ствола примерно 1 м.

Парк с качественным древостоем, набором редких иноземных видов древесно-кустарниковой растительности поддерживается в надлежащем состоянии сотрудниками и учениками расположенной в нем школы-интерната.

Территория дворцово-паркового комплекса в Высоком составляет около 50 га. Проследить историю формирования и развития парка в г. Высокое, которая началось одновременно со строительством дворца Сапегов – с 1678 г. и продолжалось, впоследствии, при возведении резиденции Потоцких достаточно сложно [1, 8]. Видовой состав насаждений и композиция парка с течением времени неоднократно менялись. Старый парк, с прудом, был окружен рвами и валами, а новый, заложенный в первой половине XIX века, воплощал лучшие традиции пейзажного стиля [1, 4, 5].

Формированию дворцово-паркового комплекса в значительной мере благоприятствовала живописная местность, включающая пойму небольшой реки Пульва. В основу композиционного построения парка положен принцип раскрытия дальних и ближних перспектив по пути прогулочного маршрута, оформленного в виде аллеи из конского каштана, протяженностью около 400 м. Это одна из самых красивых и длинных парковых алей Беларуси. Аллея огибает чащеобразное понижение с разреженным древостоем из клена и граба и идет по

западной части парка, где чередуются небольшими группами сосна черная и лиственница европейская. Деревья, на уже утраченных полянах, растут в виде клумб или букетом по 3-4 экземпляра. К сожалению, заросли бузины, крапивы и самосевный подрост деревьев закрывают вид на перспективу.

В юго-западной части парка имеется массив деревьев, выполнявших защитную роль. Древостой качественный, почти сомкнутый, практически без подроста и подлеска. Его формируют вяз, липа, клен, граб, одиночно растут береза и ясень. Второй большой древесный массив вдоль замкового вала сложен из ольхи черной, с примесью ясеня, густым подлеском из бузины черной и частым подростом.

Композиционным центром юго-восточной части парка является большая поляна площадью около 1 га (ныне стадион). По опушке поляна была декорирована экзотами. Сохранились одиночные деревья бука, белой акции, конского каштана. Здесь раньше росли (вымерзли в зиму 1986/87 гг.) два уникальных для наших мест дерева – кладрастиса желтого [1]. От основания одного из этих деревьев идут порослевые ветви. Перед местом бывшего старого дворца растут дуб черешчатый с оригинальной кипарисовидной формой кроны. Много экзотов произрастало и в других частях парка. Уникальны, единственные в республике, старые одиночные деревья гледичии обыкновенной (бесколючковой формы) высотой более 22 метров и конского каштана «*Virginica*», имеющего красноватые соцветия. Основным фоновым видом парка является конский каштан обыкновенный в виде аллей, групп и одиночных деревьев.

Парк в Гремяче занимает часть склона пригорка около реки Пульвы. Въезд в усадьбу с двух сторон был обозначен небольшими группами деревьев (клен, липа, конский каштан, белая акация) и декоративными кустарниками. Симметрично зданию дворца растут две великолепные лиственницы европейские и несколько сосен. Почти утраченной (осталось не более 5 деревьев) оказалась посадка лиственницы в северной окраине парка.

За небольшим парковым партером находится пейзажная часть парка с великолепной окружающей перспективой и видом на реку Пульву. От прежних композиций остались небольшие группы плодовых деревьев и одиночные – дуб, граб, ель, береза, подбитые снежником, спиреей Бияра, бирючиной, и несколько интродуцентов: ель колючая, ясень обыкновенный, единственный в парках Беларуси куст айвы высотой около 3,5 м, лиственница, боярышник, шелковица белая [1, 4, 5, 8].

Коссовский дворцово-парковый ансамбль в настоящее время активно реставрируется. В планах реставраторов возрождение исторического парка, который был задуман, спроектирован и существовал по подобию ренессансных садов Италии. Исторически часть этого парка с тыльной стороны дворца по крутому склону была спланирована в виде трех террас. Крутые склоны террас (перепад между первой и второй террасами составляет около четырех метров) были закреплены ковром газона, который прочно удерживал их форму. Вдоль гребня тянулись ряды сирени. Спуски, расположенные на главной оси, были оформлены лестницами.

Как известно, дворец и территория этого ансамбля сильно пострадали в годы войны, а в послевоенное время практически не использовались. Это привело к значительным разрушениям, как здания дворца, так и к деградации значительной территории земель парка, где в послевоенное время неконтролируемо стали произрастать различные виды древесно-кустарниковой растительности.

При проведении реставрационно-восстановительных работ было принято и реализовано решение об очистке значительной части территории парка от указанных насаждений, и в первую очередь, склонов террас – приведение ее в соответствие историческому облику. Это позволило, как воссоздать исторический вид этой части дворцово-паркового комплекса, так и в определенной степени решить проблему эрозии и деградации земель на склонах террас [12].

Подводя итоги проведенного исследования, следует отметить, что одной из проблем в сохранении исторически сложившегося видового разнообразия древесно-кустарниковой растительности на различных участках территорий исторических парков, с нашей точки зрения, является состояние растительного покрова и подстилки, которые, в свою очередь, является информативным индикатором эрозионной опасности исследуемых территорий. Высокая плотность и хорошее состояние растительности свидетельствуют о низкой эрозионной опасности (и наоборот). Подстилка поглощает воды в 5-10 раз больше своего веса и предотвращает поверхностный сток [10, 11, 14].

Практически во всех исследованных случаях, развившиеся из самосева молодые древесные породы второго яруса совместно с деревьями первой величины создают густую тень, что является одной из основных причин исчезновения травянистых растений и кустарников под пологом. Из-за отсутствия дернины оголившаяся почва, естественно, подвержена интенсивному разрушению в процессе водной эрозии, во время выпадения осадков и таяния снега. Мощные, но недостаточно густые корни древесных пород не в состоянии остановить этот процесс.

Кроме того, режим хозяйственных мероприятий на территориях парков не всегда комплексно учитывает все необходимые показатели для сохранения сложившегося видового разнообразия.

В качестве исключения следует отметить территорию дворцово-паркового комплекса в Коссово Ивацевичского района, где риск водно-эрозионных процессов на склонах парковых территорий, на наш взгляд, минимизирован проведенными грамотными лесомелиоративными мероприятиями [12], которые обеспечили необходимый уровень освещенности наземного слоя и сбалансированные агрохимические характеристики почв и, как следствие, сохранение видового разнообразия древесно-кустарниковой растительности.

Заключение. На основании проведенных исследований сделан следующий основной вывод: сохранение видового разнообразия древесно-кустарниковой растительности, а также эффективные лесомелиоративные мероприятия на территориях исторических парков невозможны без комплексных научных исследований, обоснования всех видов работ по изменению ландшафтов,

агрехимического состава почв и видового состава древесно-кустарниковой растительности и других существующих насаждений.

Динамика водно-эрозионных процессов отдельных участков территорий исторических парков показывают, что во многих случаях произошло и продолжает происходить засорение территорий парков самосевом и чрезмерное их загущение, что во многих местах приводит к значительному затенению наземного слоя и постепенному изменению видового состава существующих насаждений.

Список цитированных источников

1. Федорук, А. Т. Старинные усадьбы Берестейщины / А. Т. Федорук; под ред. Т. Г. Мартыненко. – Мн. : БелЭн, 2004. – 576 с.
2. Башков, А. А. Шляхетские резиденции Брестчины в свете археологических исследований: Ружаны, Скоки, Коссово, Закозель : монография / А. А. Башков; М-во образования Респ. Беларусь, Брест. гос. ун-т имени А. С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2017. – 287 с.
3. Дзяржаўны спіс гісторыка-культурных каштоўнасцей Рэспублікі Беларусь / склад. В. Я. Абламскі, І. М. Чарняўскі, Ю. А. Барысюк. – Мінск : БЕЛТА, 2009. – 684 с.
4. Несцярчук, Л. М. Замкі, палацы, паркі Берасцейшчыны Х – ХХ стагоддзя / Л. М. Несцярчук. – Мінск : БЕЛТА, 2002. – 334 с.
5. Кулагин, А. Н. Архитектура дворцово-усадебных ансамблей Белоруссии / А. Н. Кулагин. – Минск : Наука и техника, 1981. – 134 с.
6. Працэкол пасяджэння кардынацыйнага савета Брэсцкага аблвыканкама па ахове матэрыяльнай і духоўнай спадчыны ад 29 сакавіка 2007 г., Брэст. – 2007.
7. Свод памятников истории и культуры Белоруссии. Брестская область / АН БССР, И-т искусствоведения, этнографии и фольклора, Белорус. Сов. Энцикл.; Редкол.: С. В. Марцелов (гл. ред.) и др. – Мн.: БелСЭ, 1990. – 424 с.
8. Aftanazi, R. Dzieje rezydencji na dawnych kresach Rzeczypospolitej. T.2. / R. Aftanazi. – Wrocław; Warszawa; Kraków. – 1992. – 720 s.
9. Гладышчук, А. А. Нямецвічы. Сапраўдныя гісторыі: гісторыка-дакументальны нарыс / А. А. Гладышчук. – Мінск : Літаратура і Искусство, 2009. – 288 с.
10. Басов, С. В. Состояние и перспективы мелиорации территорий крутосклонов Гомельского дворцово-паркового ансамбля, подверженных водно-эрозийным процессам / С. В. Басов, В. Н. Босак, Э. А. Тур, О. Е. Прилуцкая // Проблемы, исследования, тенденции развития региональной архитектуры : сб. науч. трудов VII междунар. научно-практ. конф., Брест, 21–23 мая 2016 г. / под общ. ред. В. Ф. Морозова. – Брест : Изд-во БрГТУ, 2016. – С. 9–14.
11. Босак, В. Н. Влияние освещенности наземного слоя на динамику водно-эрозионных процессов территорий ряда исторических парков Брестской области / В. Н. Босак, С. В. Басов, Э. А. Тур // Вестник БрГТУ. – 2017. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 126–130.
12. Тур, Э. А. Реставрация Коссовского дворца Пусловских и решение возникших при этом технических проблем / Э. А. Тур, В. Н. Казаков, С. В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2017. – № 1. – С. 128–130.

13. Тур, Э. А. К вопросу о сохранении объектов историко-культурного наследия в г. Бресте / Э. А. Тур, С. В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2018. – № 1. – Строительство и архитектура. – С. 17–21.
14. Рожков, В. А. Почвенная информатика / В. А. Рожков, С. В. Рожкова.– М : Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 190 с.
15. Требования растений к уровню освещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://govsad.ru/trebovaniya-rastenij-k-urovnju-osveshhenija.html>. – Дата доступа : 14.05.2022 г.
16. Басов, С. В. Проблемы функционирования культурно-туристических объектов на основе парков исторических усадеб Брестской области / С. В. Басов, Э. А. Тур, В. Н. Босак, Е. К. Антонюк // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2020. – № 2 : Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 83–87.
17. Государственный кадастр растительного мира Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.plantcadastre.by/> .– Дата доступа : 14.05.2022 г.

УДК 630*233:630*144.462

ЭФФЕКТИВНОСТЬ СНИЖЕНИЯ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ТОРФЯНОЙ ПОЧВЫ МЕТОДОМ ПОКРОВНОГО ГРУНТА

В. Н. Босак

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
bosak-viktor@rambler.ru

Аннотация

Деградация осушенных торфяных почв на Полесье – одна из главных экологических проблем региона. В результате изучения влияния покрова минерального грунта разной мощности, наносимого на поверхность торфяной почвы выяснилось, что покрытие ее 20-сантиметровым слоем супеси достаточно эффективно защищает торф от непроизводительных потерь органического вещества и создает благоприятные условия для роста сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: торфяники, деградация, минерализация, покровный грунт, органическое вещество.

THE EFFICIENCY OF REDUCING THE MINERALIZATION OF ORGANIC MATTER OF PEAT SOIL BY THE COVER SOIL METHOD

V. N. Basak

Abstract

Degradation of ameliorated peat soil in Polesye is one of the main environmental problems. As a result of studying the effect of cover of mineral ground of different capacity applied to the surface of the peat soil it was investigated that its covering with

a 20-cm layer of sandy loam protects peat from unproductive losses of organic substance effectively enough and creates favourable conditions for the growth of agricultural crops.

Keywords: peatlands, degradation, mineralization, cover soil, organic matter.

Введение. Изучение мирового опыта наглядно и убедительно свидетельствует, что состояние почв и земельных ресурсов во многом характеризует экономическое благополучие общества. Истории известно немало случаев, когда деградация почв и земель сопровождалась разрушением целых государств. В этой связи, проблемы сохранения почвенного покрова Белорусского Полесья, повышение производительной способности почв этого региона постоянно являются актуальными. По современным оценкам в Белорусском Полесье происходит масштабная трансформация почв, суть которой заключается в существенном и необратимом уменьшении содержания и запасов органического вещества и гумуса. Полесский регион отличается большой пестротой и сложностью почвенного покрова, что затрудняет эффективное ведение сельскохозяйственного производства на этих землях [7].

Одной из центральных проблем на Полесье являются процессы деградации осушенных торфяных почв. Как показали итоги полной инвентаризации мелиоративных систем, выполненной Белгипроводхозом, в результате вышеупомянутых процессов к настоящему времени в республике деградировало более 223 тыс. га торфяных почв, в том числе 86,2 тыс. га в Брестской и 66,0 тыс. га – в Гомельской областях. По прогнозам Института проблем использования природных ресурсов и экологии НАН Беларуси, в ближайшее время следует ожидать увеличения площадей деградированных торфяных почв примерно на 12 % [2].

В свое время вопросам сохранности органического вещества торфяных почв было посвящено много исследований, как в Беларуси, так и за рубежом. Опыт показывает, что ежегодные потери органического вещества мелиорированных торфяников составляют в среднем от 2 до 6% в верхнем (пахотном) слое в зависимости от способа хозяйственного использования этих земель. На современном этапе для минимизации потерь органического вещества торфяных почв широко применяют способ залужения, который примерно в 2-3 раза замедляет процесс сработки торфа по сравнению с другими интенсивными сельскохозяйственными технологиями использования почв [8]. Тем не менее, и при таком «щадящем» методе баланс органического вещества отрицательный.

Материалы и методы. Наиболее радикальным способом сохранения органического вещества торфа считается нанесение слоя минерального грунта на поверхность торфяных почв, которое может быть осуществлено путем извлечения его из-под торфяной залежи при глубокой вспашке или доставкой из суходольных участков. Однако, вспашка не позволяет избежать перемешивания, а доставка из суходолов связана с большими материальными затратами и становится нерентабельной [1].

В Полесском аграрно-экологическом институте НАН Беларуси на основании ряда исследований коллективом авторов был разработан новый, уникальный

способ сохранения органического вещества торфа с учетом имеющихся недостатков предыдущих методов, на который в 2007 году в Национальном центре интеллектуальной собственности было получено 2 патента на изобретения [9, 10]. В настоящей работе рассмотрены некоторые вопросы, связанные с сутью данных изобретений.

Для изучения влияния мощности минерального грунта, наносимого на торфяную залежь, на тофяном месторождении «Хабы» в Брестском районе были заложены три площадки размером 5×6 м. На площадках, обозначаемых далее 1.1, 1.2 и, годом позже, 1.3 с помощью погрузчика Д-451 выполнены траншеи глубиной 10, 20 и 30 см и заполнены минеральным грунтом. Грунт по механическому составу, определенный в полевых условиях по методу раскатывания шнура, относится к супеси. Зольность 93 %, влажность 10 %.

Результаты и обсуждение. Естественно, если ставится задача только консервации торфа, то желательно наносить более мощный слой грунта, который будет надежнее предохранять торф от минерализации. Однако вопрос следует рассматривать в плане получения максимальной отдачи от почвы при минимальной минерализации органического вещества. В связи с этим необходимо определить оптимальную мощность слоя минерального грунта, отвечающую обоим этим требованиям.

Результаты определения эмиссии CO₂ на опытных площадках в течение 2-х лет исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Эмиссия CO₂ на опытных площадках, в полевых условиях

Дата проведения опыта	Количество выделившегося CO ₂ на площадках за 1 час, мг			
	Контроль	1.1	1.2	1.3
1-й год исследований				
15.07	22,713	-	15,339	-
30.07	20,869	19,667	16,429	-
17.08	30,452	27,423	13,783	-
08.09	26,238	17,155	13,529	-
22.09	13,473	11,144	6,678	-
2-й год исследований				
31.05	21,421	19,316	22,253	12,324
30.06	25,931	22,084	15,067	20,746
02.08	27,775	29,543	25,482	-
08.09	22,573	24,738	20,936	-

Из данных таблицы 1 видна более выраженная разница в количестве выделившегося CO₂ на площадках в первый год исследований, когда опыты проводились во второй половине сезона и площадки не были покрыты растительностью. Минеральный грунт после укладки не был перемешан.

В сезоне следующего года опыты проводились в первой половине вегетационного периода. Площадки 1.1 и 1.2 были заняты посевами озимой пшеницы. Минеральный грунт, особенно на площадке 1.1, был частично перемешан с торфом за счет передвижения по площадкам при проведении работ по отбору проб, измерению температуры, закладке испарителей и льняной ткани. По-видимому, по этим причинам разница в выделении CO₂ на опытных площадках была менее заметной. Но, в основном, на опытных площадках количество выделившегося CO₂ было ниже, чем на контрольной.

Во втором сезоне исследований определение эмиссии CO_2 02.08 и 08.09 проводилось после уборки пшеницы. Поверхность площадок несколько взрыхлилась. Очевидно, по этой причине количество CO_2 на площадках отличалось незначительно. Но на площадке с большим слоем минерального грунта оно было меньше, чем на контроле.

Следует отметить, что в пшенице на опытных площадках 1.1 и 1.2 практически не было сорняков. Здесь проявлялось защитное действие минерального грунта в борьбе с сорняками.

Как известно, температурный режим верхних слоев почв определяется теплообменом приземных слоев воздуха с поверхностью почв. Для исследования параметров этого обмена в свое время были разработаны методика и приборы [6].

Полученные данные показали, что суточная амплитуда колебаний температуры на поверхности торфяной почвы ($h=0$) составляет около 45°C . В то же время такая же амплитуда для приземного слоя воздуха на высоте 2 м ($h=200$) составила не более 25°C . Это объясняется прежде всего тем, что торфяные почвы имеют малую величину альбедо и относительно низкий коэффициент теплопроводности, и что при ясной погоде основной вклад в теплообмен на поверхности почв вносит радиационный обмен. Амплитуды колебаний температуры уменьшаются с увеличением глубины погружения в почву и уже на глубине 10 см они составляют приблизительно 5°C , а на глубине 20 см – менее 1°C .

Анализ полученных результатов показал, что температурный минимум на поверхности наблюдается непосредственно перед восходом солнца. Уже на глубине 0,2 м температура практически не изменялась. Таким образом, температурный режим верхнего слоя торфяных почв определяется в основном его свойством на глубине 0-0,2 м.

По мнению авторов [6], одной из причин, вызывающих явление температурного минимума вблизи поверхности почв на высоте 0,02-0,05 м является стекание выхоложенного воздуха в места понижения с прилегающих окрестностей.

Резкое снижение теплопроводности торфяных почв при понижении их влагосодержания способствует перегреву этих почв до 45°C в дневное время и к переохлаждению ночью. За счет этих факторов минимальная температура торфяных почв может на $3-4^\circ\text{C}$ быть ниже соответствующей температуры минеральных почв.

Увеличение массовой доли песчаного компонента от 0 до 0,3 сопровождается повышением минимальной температуры поверхности почвы на $1,3-1,5^\circ\text{C}$ и снижением максимальной температуры почвы на 3°C , что уменьшает иссушение верхнего слоя почвы в дневное время.

Как отмечает В. И. Бохонко [5], наиболее всего подвержены поздним весенним и ранним осенним заморозкам осушенные торфяные почвы – в 2,5 раза чаще, чем минеральные.

Растения в зависимости от фазы развития по-разному реагируют на кратковременные заморозки. Заморозки -7°C для озимых зерновых проходят бесследно. Большинство растений кукурузы погибает при заморозках -3°C .

Характер мер, применяемых по снижению ущерба (пересев или стимуляция жизнеспособности сохранившихся растений), зависит от состояния посевов, погодных условий, обеспеченности почвы влагой, возможностями хозяйства.

Данные по температуре на опытных площадках приведены в таблице 2.

Из приведенных данных видно, что заметные изменения температуры на всех площадках имеют место до глубины 20 см. Эти результаты согласуются с данными [6], по которым песчаное покрытие в 13 см является достаточным для выравнивания температурных условий торфяных почв с минеральными. Другими словами, нанесение на торфяную почву минерального грунта слоем 15-20 см снижает вероятность появления на ней заморозков.

Таблица 2 – Изменение температуры по глубине на опытных площадках, °С

№ площадки	Глубина, см	Дата						
		1-й год исследований			2-й год исследований			
		17.08	08.09	22.09	31.05	28.06	13.07	02.08
Контроль	5	-	17,5	13	23	18,9	22	23
	10	20,5	16,7	13,5	23	18,9	22,6	21,5
	20	20,6	18	15,2	21,5	18,5	21,6	21,5
	30	19,1	18,2	15,7	18	17,5	19,5	21
	40	18,6	18	15,8	16	16,3	18,4	20,3
1.1	5	-	20,3	12,5	23,7	22,8	21	24
	10	22	17	13	24	20,5	19,5	22,5
	20	20,5	18	14,1	21	19,8	19,1	21,5
	30	22,3	17,9	15	18,5	18,8	18,4	20,6
	40	18,5	17,5	15,1	16	17,6	17,2	19,7
1.2	5	-	16,5	12,5	22,6	22,5	21,5	24
	10	19,2	15,5	12,5	23	20,5	21,9	22,5
	20	19,5	17,5	13,4	21,5	20	21,5	22
	30	19	17,5	14,7	18	19	20,9	21
	40	18,5	17	15,4	16	17,7	19,1	20,2
1.3	5	-	-	-	24	22,3	27,5	-
	10	-	-	-	25	21	24,5	-
	20	-	-	-	24	20,4	24,4	-
	30	-	-	-	23,5	20,5	24,2	-
	40	-	-	-	22	19,6	23,6	-
Температура воздуха		26,5	20,5	14	20,5	25	32	27,5

Из приведенных данных видно, что заметные изменения температуры на всех площадках имеют место до глубины 20 см. Эти результаты согласуются с данными [5], по которым песчаное покрытие в 13 см является достаточным для выравнивания температурных условий торфяных почв с минеральными. Другими словами, нанесение на торфяную почву минерального грунта слоем 15-20 см снижает вероятность появления на ней заморозков.

Из таблицы также видно, что более заметное изменение температуры наблюдается при более высоких температурах воздуха. Незначительное изменение температуры имело место при наличии на площадках растительности (пшеницы) в период с 28.06 по 02.08.

Как отмечает В. И. Белковский [3], проведенные исследования режима влажности в почвах, созданных глубокой вспашкой, свидетельствуют о более

высоких запасах доступной растениям влаги по сравнению с исходным торфяником.

В почвах, созданных глубокой вспашкой, выпадающие осадки быстро отводятся через песчаные слои, часть их аккумулируется и долго удерживается торфяным слоем. Благодаря наличию песчаного экрана (пахотный слой) над аккумулирующими торфяными слоями значительно сокращается расход влаги на испарение. В условиях повышенных температур и недостаточного выпадения осадков с поверхности на контроле испарилось 84,9 мм влаги, а с трансформированной почвы – 48,7 мм.

Преобразование почвенного профиля приводит к своеобразному перераспределению в нем влагозапасов. В новом (песчаном пахотном слое) по сравнению с торфяным содержание влаги несколько уменьшается, в подпахотном, наоборот, увеличивается, а суммарные запасы доступной для растений влаги в почвенном профиле значительно возрастают.

Наши данные по изменению влажности и зольности на опытных площадках приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Изменение влажности (W) и зольности (A) на опытных площадках по глубине

Дата	Глубина отбора, см	Площадка							
		Контроль		1.1		1.2		1.3	
		W	A	W	A	W	A	W	A
1-й год исследований									
22.09	5	46,50	47,19	31,01	78,59	11,44	96,02	-	-
	10	49,74	43,36	47,73	58,16	38,82	79,55	-	-
	20	61,80	32,13	67,22	30,75	72,41	25,15	-	-
	30	72,23	28,96	77,55	19,67	79,12	16,33	-	-
	40	-	-	-	-	-	-	-	-
2-й год исследований									
31.05	5	50,08	35,03	1,25	96,58	4,34	96,23	0,76	99,06
	10	57,47	30,53	51,18	40,45	5,68	94,63	3,44	99,16
	20	61,52	31,50	62,15	40,21	52,48	47,49	2,96	99,52
	30	70,22	31,31	78,25	27,38	74,24	30,10	61,32	48,05
	40	81,08	17,54	81,09	14,77	78,86	24,27	65,90	45,41
28.06	5	33,75	62,02	9,65	91,65	7,19	95,80	2,30	98,85
	10	47,61	40,32	38,92	52,25	7,29	95,90	2,05	99,39
	20	57,24	32,41	51,94	39,73	70,19	19,72	2,11	99,44
	30	71,89	19,66	75,55	26,86	81,24	26,48	4,86	97,19
	40	80,71	25,66	76,33	17,17	83,44	12,14	65,42	43,44

Опыты по изучению влияния минерального грунта на торфяных почвах на биологическую активность и минерализацию органического вещества показали, что скорость минерализации органического вещества при слое песка в 10 см замедляется по сравнению с контролем примерно в 2 раза. Перемешивание торфа с песком приводит к ускорению процесса минерализации [4].

Из приведенных данных видно, что на площадках 1.1 и 1.2 за счет внесения минерального грунта влажность в верхних слоях уменьшилась, а зольность, естественно, увеличилась. Это изменение заметно до глубины 20-30 см. Важно отметить, что на глубине 30 см на опытных площадках влажность выше, чем

на контрольной. Это значит, что в торфяных слоях под минеральным грунтом влага аккумулируется и используется растениями. Следует добавить, что верхние слои контрольной площадки были в значительной степени пересушены.

Для изучения испарения влаги на опытных площадках были установлены испарители. Данные по изменению веса испарителей на опытных площадках приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Изменение веса испарителей на опытных площадках

Площадка	Вес испарителя с грунтом, кг			
	1-й год исследований		2-й год исследований	
	8.09	22.09	31.05	13.07
Контроль	3,950	3,600 (-0,350)	4,150 (+0,550)	4,100 (-0,050)
1.1	4,600	4,450 (-0,150)	4,700 (+0,250)	4,900 (+0,200)
1.2	8,820	5,100 (+0,280)	5,150 (+0,050)	5,200 (+0,050)

Из приведенных данных видно, что на контрольной площадке (без минерального грунта) и со слоем минерального грунта 10 см вес испарителей в зависимости от погодных условий то уменьшался, то увеличивался; на площадке со слоем минерального грунта 20 см вес испарителя, хотя и незначительно, но все время увеличивался. Этим подтверждается вывод о том, что минеральный грунт, нанесенный на поверхность торфяной залежи, уменьшает испарение с подпахотного горизонта. Это согласуется и с данными по влажности на глубине 20-30 см, где она на площадках с минеральным грунтом выше, чем на контрольной.

Заключение. Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что покрытие торфяной почвы 20-сантиметровым слоем минерального грунта достаточно эффективно защищает торф от непроизводительных потерь органического вещества. С другой стороны, такая мощность супесчаного слоя не является препятствием для корневых систем подавляющего большинства сельскохозяйственных культур в достижении ими более плодородного и увлажненного торфяного слоя.

Список цитированных источников

1. Бамбалов, Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Н. Н. Бамбалов. – Мн. : ННТ. – 1984. – С. 118–125.
2. Бамбалов, Н. Н. Проблемы сохранения органического вещества мелиорированных торфяных почв Полесья / Н. Н. Бамбалов // Проблемы Полесья. – Минск : Наука и техника, 1982. – Вып. 8. – С. 196–203.
3. Белковский, В. И. Пути трансформации маломощных торфяников в почвы с минеральным пахотным слоем методом глубокой вспашки / В. И. Белковский. – Мн., 1983. – 44 с.
4. Босак, В. Н., Кот, Н.А., Ерчак, Н.П., Волчек, А.А., Лицкевич, А.Н., Волчек, Ан.А. Создание устойчивых органо-минеральных комплексов на осушенных торфяных почвах Белорусского Полесья / В. Н. Босак, Н. А. Кот, Н. П. Ерчак, А. А. Волчек, А. Н. Лицкевич, Ан. А. Волчек // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. прыродазнаўчых навук. – Брэст, 2006, № 1(25). – С. 86–92.
5. Бохонко, В. И. Влияние заморозков на мелиорированных землях Полесья / В. И. Бохонко // Прыроднае асяроддзе Палесся. Матэрыялы міжнароднай

- навуковай канферэнцыі. Брэст, 16–18 чэрвеня 2004. Частка 2. – Брэст, 2004.
6. Бровка, Г. П. Исследование и прогнозирование заморозков на мелиорированных торфяных почвах / Г. П. Бровка, И. В. Дерюля, В. А. Свечевский // Природные ресурсы. – 2000. – № 1. – С. 13–14.
 7. Лихацевич, А. П. Состояние и перспективы сельскохозяйственного использования торфяных почв / А. П. Лихацевич, А. С. Мееровский, В. И. Белковский // Природные ресурсы. – 1997. – № 2. – С. 31–40.
 8. Лихацевич, А. П. Мелиорация земель в Беларуси / А. П. Лихацевич, А. С. Мееровский, Н. К. Вахонин // – Минск : БелНИИМиЛ, 2001. – С. 138–142.
 9. Пат. 9668 ВУ, С1 2007.08.30. Способ сохранения органического вещества торфа / Ерчак Н. П., Волчек А. А., Ерчак Д. П., Босак В. Н., заявители и патентообладатели Ерчак Н. П., Волчек А. А., Ерчак Д. П., Босак В. Н., ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси». – № а20040070, заявл. 09.02.04, опубл. 04.05.07, Бюл. № 4. – 3 с.
 10. Пат. 9669 ВУ, С1 2007.08.30. Способ снижения потерь органического вещества осушенных торфяников / Ерчак Н. П., Волчек А. А., Босак В. Н., Кот Н. А., заявители и патентообладатели Ерчак Н. П., Волчек А. А., Босак В. Н., Кот Н. А., ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси». – № а20040071, заявл. 09.02.04, опубл. 04.05.07, Бюл. № 4. – 3 с.

УДК 57.044

ПРОТЕКТОРНОЕ ДЕЙСТВИЕ 24-ЭПИКАСТАСТЕРОНА И ЕГО КОНЬЮГАТОВ С КИСЛОТАМИ НА ГАЗОННЫЕ ЗЛАКИ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНОВ СВИНЦА

И. В. Бульская, В. В. Коваленко, А. А. Плинда, Я. В. Хомюк

БрГУ имени А. С. Пушкина, Брэст, Беларусь, inabulsksys@gmail.com

Аннотация

На растениях тимофеевки луговой и фестулолиума в лабораторных условиях исследовано протекторное действие 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами в отношении повышенных концентраций ионов свинца. Показано, что защитное действие изучаемых соединений является видоспецифичным. Наиболее чувствительным к действию ионов свинца параметром роста в условиях опыта является длина корня.

Ключевые слова: конъюгаты brassinостероидов, 24-эпикастастерон, фестулолиум, тимофеевка луговая, свинец, почва.

ASSESSMENT OF THE PROTECTIVE EFFECT OF NATURAL BRASSINOSTEROID-ACID CONJUGATES ON LAWN GRASSES UNDER CONDITIONS OF EXPOSURE TO LEAD IONS

I. V. Bulska, V. V. Kavalenka, A. A. Plinda, Y. V. Khamiuk

Abstract

The protective effect of 24-epicastasterone and its conjugates with acids in relation to elevated concentrations of lead ions was studied on timothy grass and festulolium plants under laboratory conditions. It was shown that the protective effect of the studied compounds is species-specific. The most sensitive growth parameter to the action of lead ions under experimental conditions is the root length.

Key words: brassinosteroid conjugates, 24-epicastasterone, Festulolium, Phleum pratense L., lead, soil.

Введение. Почва является основным компонентом наземных экосистем и имеет жизненно важное значение для благополучного состояния окружающей нас среды. В почве накапливаются загрязнители из атмосферы и токсиканты, представляющие гигиеническую и экологическую опасность для человека, животных и растений, тормозящие очищение и восстановление окружающей среды. Самыми массовыми загрязнителями почв являются углеводороды, тяжелые металлы, полициклические ароматические углеводороды, хлорорганические соединения. Присутствие этих токсикантов в почве ухудшает экологическую обстановку: происходит угнетение растительности, подавляется ризосферная биота. Тяжелые металлы, накапливаясь в почве, связываются с ее минеральными компонентами и могут переходить в почвенный раствор и далее потребляются растениями и проникают в пищевые цепи, попадают в сельскохозяйственную продукцию, а также вымываются в грунтовые воды [1].

Извлечение токсикантов из почвы и ее восстановление являются дорогостоящим и сложным процессом, поэтому одним из активно разрабатываемых в последнее время в науке направлений является защита культурных декоративных и сельскохозяйственных растений от неблагоприятных факторов окружающей среды. Перспективной группой веществ, изучаемых в данном направлении, являются brassinостероиды и их производные.

Брассиностероиды присутствуют в тканях растений естественным образом и представляют собой группу фитогормонов (полигидроксилированный стероидный лактон брассинолид и его производные), для которых в последние годы были показаны самые разнообразные эффекты: удлинение, влияние на развитие корней, повышение способности противостоять различным видам стресса (недостатку питательных веществ в почве, низким температурам, недостатку воды, ингибирующему эффекту хлорида натрия и пестицидов, повышают устойчивость к болезням) [2, 3].

Несмотря на то, что физиологические эффекты воздействия brassinостероидов схожи с другими эндогенными гормонами (ауксинами, гибберелинами, этиленом), исследования свидетельствуют о существенных различиях в механизме действия [3].

Брассиностероиды и их производные – природные, нетоксичные соединения, применяемые в очень низких концентрациях и способные улучшить урожайность даже на не удобряемых полях, что делает их подходящими кандидатами к применению на практике, особенно в неблагоприятных

климатических условиях, позволяя сократить применение удобрений и агрохимикатов, являющихся серьезными загрязнителями воды и почвы [3].

Целью данного исследования являлась оценка протекторного действия 24-эпикастастерона (ЭК) и тетраиндолилацетата 24-эпикастастерона (S31) в отношении влияния ионов свинца на растения тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) сорта «Волия» и фестулолиума (*Festulolium*) в условиях лабораторного эксперимента.

Материалы и методы. Гормоны, использованные для проведения эксперимента, были получены в ГНУ «Институт биоорганической химии НАН Беларуси». На основании ранее полученных результатов [4] для проведения исследования выбраны следующие оптимальные концентрации гормонов, оказывающие ростстимулирующее действие в отношении растений-тестобъектов: 24-эпикастастерон в концентрациях 10^{-7} и 10^{-11} М, S31 в концентрациях 10^{-7} М для фестулолиума; 24-эпикастастерон (ЭК) в концентрации 10^{-8} М и тетраиндолилацетат 24-эпикастастерона (S31) в концентрации 10^{-9} М для тимофеевки луговой (*Phleum pratense* L.) сорта «Волия».

Выбор тест-объектов обусловлен тем, что виды характеризуется высокой скоростью прорастания, индикативностью, корешки развиваются быстро и равномерно [5].

Увеличение тест-объектов в проводимых биоиспытаниях является важным, поскольку физиологические эффекты брассиностероидов зависят не только от видовых, но и сортовых особенностей растений [6].

Ввиду недостаточности литературных данных по воздействию ионов свинца, выбранных для исследования протекторного действия конъюгатов брассиностероидов в отношении потенциально токсичных элементов, на фестулолиум и тимофеевку луговую в первую очередь была проведена оценка всхожести, длины корня и длины побега проростков для выявления оптимальной концентрации. Диапазон концентраций 10^{-2} – 10^{-6} М.

Проращивание семян проводилось в соответствии с ГОСТ 12038–84. Всхожесть определялась на 8-е сутки для тимофеевки; 10-е сутки для фестулолиума. На 8-е сутки также определялась длина корня и длина побега проростков тимофеевки, на 10-е сутки для проростков фестулолиума.

Непосредственно для исследования протекторного действия конъюгатов брассиностероидов семена фестулолиума предварительно замачивают в течение 5 часов в растворах ЭК и S31. В качестве контроля использовалась дистиллированная вода. В качестве опытного варианта раствор с оптимальной концентрацией ионов свинца. Для оценки протекторного действия на рост и развитие растений выбраны следующие параметры: согласно ГОСТ 12038–84 [7] всхожесть, после чего замеряются длины подземной и надземной частей растений [8].

Для оценки влияния конъюгатов природных брассиностероидов с кислотами на морфометрические параметры роста фестулолиума были использованы следующие варианты опыта:

Для фестулолиума

1. дистиллированная вода (контроль);

2. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М;
3. ЭК с концентрацией 10^{-7} М;
4. ЭК с концентрацией 10^{-11} М;
5. S31 с концентрацией 10^{-7} М;
6. ЭК с концентрацией 10^{-7} М + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М;
7. ЭК с концентрацией 10^{-11} М + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М;
8. S31 с концентрацией 10^{-7} М + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М.

Для тимофеевки луговой

9. дистиллированная вода (контроль);
10. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М;
11. ЭК с концентрацией 10^{-8} М;
12. S31 с концентрацией 10^{-9} М;
13. ЭК с концентрацией 10^{-8} М + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М;
14. S31 с концентрацией 10^{-9} М + $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ с концентрацией 10^{-3} М.

Результаты и обсуждение. Параметры начальных этапов роста тестовых растений для оценки оптимальной концентрации ионов свинца приведены в таблицах 1 и 2. Семена обеих культур, подвергнутые действию ионов свинца в концентрации 10^{-2} М практически не взошли, поэтому данные по этой концентрации не приводятся. Для концентраций в диапазоне 10^{-4} М – 10^{-6} значимых отличий от контрольного опыта не выявлено.

Для оценки протекторного действия исследованных фитогормонов была выбрана концентрация ионов свинца 10^{-3} М. Результаты представлены на рисунках 1 и 2.

Таблица 1 – Влияние различных концентраций ионов свинца на параметры начальных этапов роста тимофеевки луговой

Вариант опыта	Всхожесть, %	Длина корня, мм	Длина побега, мм
Контроль	$77 \pm 2,1$	$16,86 \pm 0,81$	$25,55 \pm 0,59$
$\text{Pb}^{2+} 10^{-6}$ М	$73 \pm 2,2$	$16,18 \pm 0,82$	$27,45 \pm 0,63$
$\text{Pb}^{2+} 10^{-5}$ М	$77 \pm 2,1$	$17,54 \pm 0,82$	$26,97 \pm 0,69$
$\text{Pb}^{2+} 10^{-4}$ М	$70 \pm 2,3$	$12,46 \pm 0,72$	$24,62 \pm 0,81$
$\text{Pb}^{2+} 10^{-3}$ М	$51 \pm 2,5$	$1,38 \pm 0,36$	$16,60 \pm 0,94$

Таблица 2 – Влияние различных концентраций ионов свинца на параметры начальных этапов роста фестулолиума

Вариант опыта	Всхожесть, %	Длина корня, мм	Длина побега, мм
Контроль	$75,3 \pm 1,76$	$69,2 \pm 2,01$	$70,0 \pm 1,73$
$\text{Pb}^{2+}, 10^{-6}$ М	$83,3 \pm 3,33$	$71,7 \pm 1,83$	$74,2 \pm 1,77$
$\text{Pb}^{2+}, 10^{-5}$ М	$81,3 \pm 1,76$	$70,3 \pm 2,23$	$72,7 \pm 1,96$
$\text{Pb}^{2+}, 10^{-4}$ М	$76,0 \pm 2,31$	$71,0 \pm 1,77$	$71,9 \pm 1,70$
$\text{Pb}^{2+}, 10^{-3}$ М	$82,0 \pm 3,06$	$35,7 \pm 1,36$	$68,6 \pm 1,66$

Как видно из приведенных на рисунке 1 данных, тимофеевка луговая показала себя как более чувствительный к действию исследованных гормонов вид. ЭК и S31 способствуют увеличению показателя всхожести. Так, в варианте опыта с ЭК увеличение составляет 7 %, а в варианте опыта с S31 – 3 % по сравнению с контролем. Семена, подвергнувшиеся токсическому действию

ионов свинца и обработанные ЭК и S31, демонстрируют всхожесть выше, чем семена, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и необработанные brassinosterоидами.

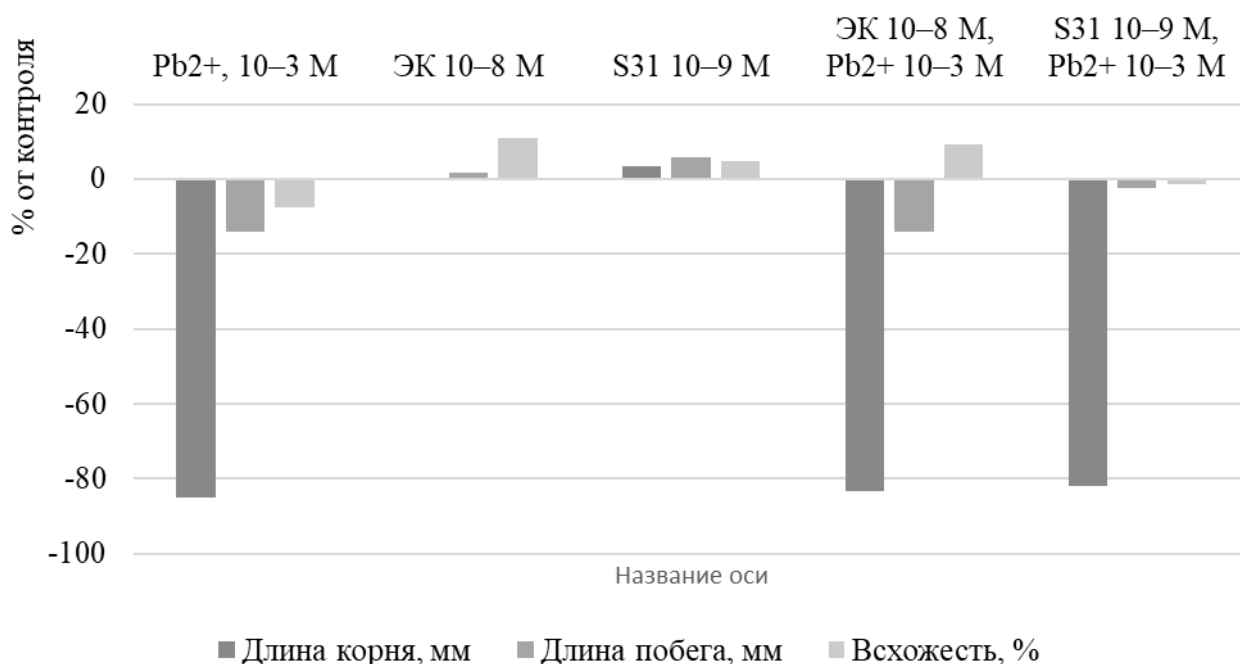


Рисунок 1 – Влияние ионов свинца на параметры начальных этапов роста тимфеевки луговой без обработки и с обработкой 24-эпикастастероном и тетраиндолилацетатом 24-эпикастастерона, % относительно контроля

Наиболее сильно токсическое действие ионов свинца (рисунок 1) сказывается на росте корня тимфеевки луговой. Растения, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца, демонстрируют уменьшение длины корня на 85 % по сравнению с контролем. Растения, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и обработанные ЭК и S31, демонстрируют уменьшение длины корня на 83,5 % и 82 % соответственно по сравнению с контролем.

Токсическое действие ионов свинца в отношении длины побега проростков тимфеевки луговой может уменьшить предпосевная обработка семян S31. Если растения, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца, демонстрируют уменьшение длины побега на 13,9 % по сравнению с контролем, то растения, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и обработанные S31, демонстрируют уменьшение длины побега только на 2,5 % по сравнению с контролем.

Таким образом, наиболее значительным является токсическое действие ионов свинца на рост корня растений тимфеевки луговой.

Уменьшение токсического действия ионов свинца под влиянием изучаемых brassinosterоидов проявляется в увеличении длины корня и длины побега растений, подвергнувшихся токсическому действию ионов свинца и обработанных ЭК и S31 по сравнению с растениями, которые подвергались действию ионов свинца, но не обрабатывались brassinosterоидами.

Для фестуолиума в условиях опыта защитного действия гормонов не наблюдалось (рисунок 2).

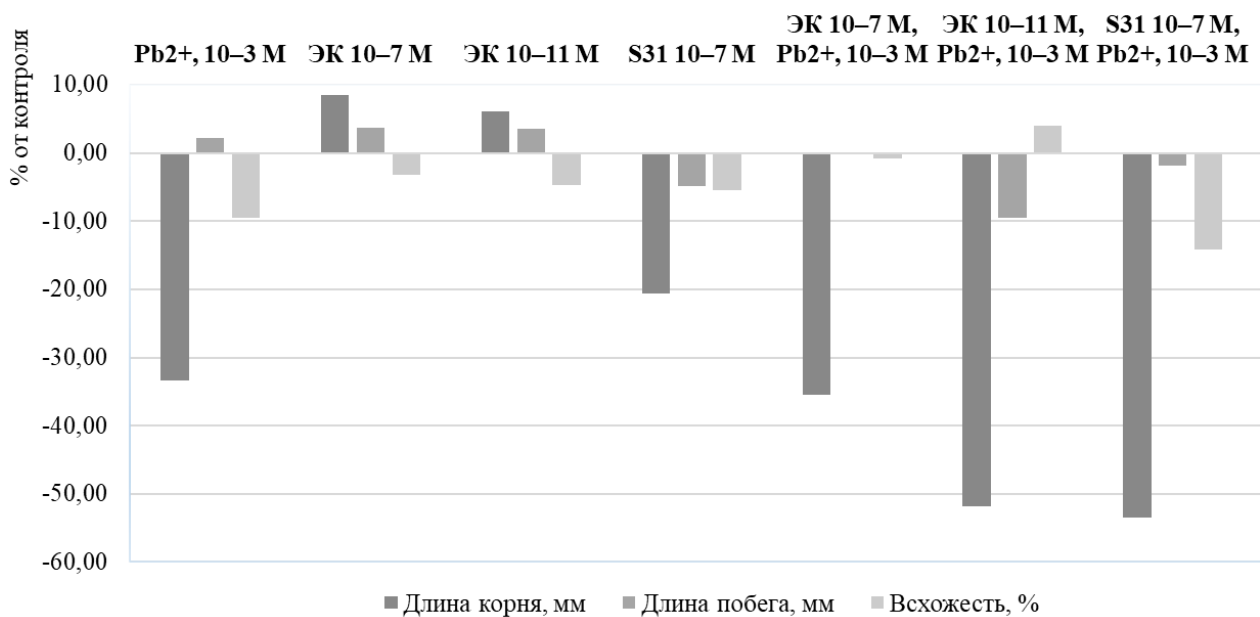


Рисунок 2 – Влияние ионов свинца на параметры начальных этапов роста фестулолиума без обработки и с обработкой 24-эпикастастероном и тетраиндолилацетатом 24-эпикастастерона, % относительно контроля

ЭК незначительно способствует увеличению длины корня и стебля проростков фестулолиума (на 8,5 % и 3,6 % соответственно в концентрации 10⁻⁷ М, на 6,1 % и 3,5 % в концентрации 10⁻¹¹ М). Семена, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и обработанные ЭК и S31, демонстрируют всхожесть, длину корня и стебля проростков меньше, чем семена, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и необработанные brassinosterоидами. Только в варианте опыта с обработкой ЭК в концентрации 10⁻¹¹ М всхожесть семян фестулолиума была выше контроля на 3,9 % и выше всхожести в опыте только со свинцом на 13,3 %.

Наиболее выражено токсическое действие ионов свинца отражается на длине корня фестулолиума. Растения, подвергнувшиеся действию ионов свинца, демонстрируют уменьшение длины корня на 33,4 % по сравнению с контролем. Растения, подвергнувшиеся токсическому действию ионов свинца и обработанные ЭК 10⁻⁷ М демонстрируют практически такой же результат (меньше на 35,5 %), а растения, обработанные ЭК 10⁻¹¹ М и S31, демонстрируют уменьшение длины корня на 51,8 % и 53,5 % соответственно по сравнению с контролем.

Токсическое действие ионов свинца в отношении длины побега проростков фестулолиума не наблюдалось (плюс 2,2 % по сравнению с контролем). Однако у семян, обработанных гормонами и подвергшимся действию ионов свинца по сравнению с контролем наблюдается незначительное уменьшение длины побега (от 0,01 до 9,5 %).

Обобщая полученные данные, можно сделать вывод, что использованные в данном эксперименте гормоны не обладают защитным действием от токсического влияния ионов свинца для фестулолиума.

Заключение. 1. Защитное действие исследованных фитогормонов ЭК и S31 является видоспецифичным и проявляется на тест-объектах в разной степени. 2.

Исследованные фитогормоны являются перспективным средством защиты газонных злаков от повышенных концентраций ионов свинца на загрязненных почвах для чувствительных к их воздействию видов. 3. Наиболее чувствительным параметром в условиях лабораторного опыта является длина корня тестовых растений.

Благодарности. Работа выполнена в рамках НИР «Оценка влияния природных brassinosteroidов и их конъюгатов с кислотами на морфометрические и физиолого-биохимические параметры сельскохозяйственных и декоративных растений» подпрограммы 2.3 «Химические основы процессов жизнедеятельности (Биооргхимия)» ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биооргхимия» на 2021–2025 гг.

Список цитированных источников

1. Янкевич, М. И. Биоремедиация почв: вчера, сегодня, завтра / М. И. Янкевич, В. В. Хадеева, В. П. Мурыгина // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2015. – Т. 7. – № 2. – С. 199–208.
2. Карпин, В. И. Методика определения силы роста семян кормовых культур / В. И. Карпин [и др.]. – Москва : Изд-во РГАУ – МСХА, 2012. – 16 с.
3. Brosa, C Biological Effects of Brassinosteroids / C. Brosa // Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology. – 1999. – №34(5). – P. 339–358.
4. Колбас, А. П. Биотестирование влияния конъюгатов brassinosteroidов с кислотами на физиолого–биохимические параметры фестулолиума / А. П. Колбас, В. С. Нестерук // Проблемы оценки, мониторинга и сохранения биоразнообразия : сб. материалов IV Респ. науч.-практ. экол. конф., Брест, 25 нояб. 2021 г. / Брест. гос. ун–т им. А. С. Пушкина; редкол. : Н. М. Матусевич, Н. В. Шкуратова, М. В. Левковская. – Брест : БрГУ, 2021. – С. 95–97.
5. Колбас, А. П. Структурные и функциональные ответы растений на полиэлементное загрязнение в почвенных сериях / А. П. Колбас, Н. Ю. Колбас, М. А. Пастухова // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2021. – № 1. – С. 23–33.
6. Ленивко, С. М. О потенциальных возможностях расширения спектра действия brassinosteroidов // С. М. Ленивко, Ю. В. Кирисюк / Менделеевские чтения – 2017 : материалы Междунар. науч.-практ. конф. по химии и хим. образованию, Брест, 24 февр. 2017 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: Н. С. Ступень [и др.] ; под общ. ред. Н. С. Ступень. – Брест : БрГУ, 2017. – С. 100–105.
7. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – Межгосударственный стандарт: ГОСТ 12038–84. – Введ. 01.07.86. – М. : Стандартинформ, 2011. – 29 с.
8. Тютюрев, С. Л. Физиолого-биохимические основы управления стрессоустойчивостью растений в адаптивном растениеводстве / С. Л. Тютюрев // Вестник защиты растений. – 2000. – № 1. – С. 11–26.

ПРОБЛЕМЫ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
volchak@tut.by

Аннотация

Статья посвящена проблемам водных ресурсов Беларуси. Дана оценка поверхностных вод. Рассмотрены возможные последствия изменения речного стока в связи с изменением климата и антропогенными воздействиями. Представлены результаты анализа водопотребления Республики Беларусь и даны прогнозные оценки развития водопотребления. Оценены экологические риски и обозначены первоочередные задачи исследований по решению водных проблем страны.

Ключевые слова: водные ресурсы, риски, наводнения, маловодье, гидрохимия, прогноз.

PROBLEMS OF WATER RESOURCES IN BELARUS

A. A. Volchak

Abstract

The article is devoted to the problems of water resources in Belarus. The assessment of surface waters is given. The possible consequences of changes in river flow due to climate change and anthropogenic impacts are considered. The results of the analysis of water runoff in the Republic of Belarus are presented and forecast estimates of the development of water runoff are given. Environmental risks are assessed and priority tasks of research on solving the country's water problems are identified.

Keywords: water resources, risks, floods, low water, hydrochemistry, forecast.

Введение. Водные ресурсы являются главным природным ресурсом любой страны, т.к. состояние и развитие биосферы и человеческого общества, находятся в тесной зависимости от их состояния. В тоже время с водными ресурсами связано ряд проблем как глобального, так и локального характера. Водные проблемы можно разделить на четыре группы: избыток воды (наводнения), недостаток воды (маловодья и засухи), неудовлетворительное качество и не соответствие водного режима оптимальному функционированию экосистем и хозяйственных объектов. В глобальном аспекте первая и вторая проблемы сопровождают человечество с древних времен, а третья и четвертая порождены XX веком. Все эти проблемы в той или иной степени присущи и Беларуси.

Материалы и методы. Методологической основой исследований явились научные положения о стохастической природе речного стока, что позволило применить статистические методы анализа временных рядов. Используются методы водного и теплоэнергетического баланса, математического моделирования. Системный анализ накопленной информации и сравнительно-географический метод позволили синтезировать закономерности пространственно-временных колебаний водных ресурсов и объективно оценить связанные с ними риски.

Беларусь располагается на водоразделе бассейнов Балтийского и Черного морей, на территории которой насчитывается около 20,8 тыс. рек общей протяженностью 90,6 тыс. км и 10,8 тыс. озер, кроме того, создано 153 водохранилища различного назначения. Реки принадлежат к равнинному типу с преобладанием элементов снегового питания [1].

Исходными данными послужили материалы наблюдений республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за стоком рек по 122 створам для характерных расходов: среднегодовые, максимальные весеннего половодья, минимальные летне-осенние и минимальные зимние за период с 1953 по 2018 гг. Количество гидрологических постов, использованных в настоящем исследовании, достаточно для получения результатов с требуемой для решаемых задач точностью [2]. Кроме того по 5 рекам (Припять в створе г. Мозырь, Неман в створе г. Гродно, Западная Двина в створе г. Витебск, Березина в створе г. Бобруйск, Днепр в створах г. Орша и г. Речица) анализировались гидрологические ряды за период с 1877 по 2018 гг., т.е. 142 года. На предварительном этапе проведен статистический анализ, восстановлены пропущенные данные с помощью программного комплекса «Гидролог-2» [3]. Для исследования влияния современного потепления климата выполнен сравнительный анализ двух интервалов: 1877 – 1986 гг. до начала потепления и 1987 – 2018 гг. собственно период потепления. Кроме того, отдельно анализировались ряды наблюдений за последние 50 лет (1969 – 2018 гг.), т.е. расчетный период, рекомендуемый для определения статистических характеристик и построения математических моделей прогнозирования стока рек Беларуси.

В основе комплексного анализа динамики водопотребления и использования воды в Республике Беларусь положены материалы водохозяйственной статистики из статистических сборников за период с 1990 по 2020 гг. [4].

Анализ качества природных вод осуществлялся по данным Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь за период с 1991 по 2020 гг. по показателям: содержание в воде растворенного кислорода, никеля, нефтепродуктов, железа, меди, цинка, фосфат-ион, нитрит-ион, аммоний-ион, синтетические поверхностные активные вещества (СПАВ), индекс загрязнения воды (ИЗВ), биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК₅). Основным критерием для оценки физико-химического качества поверхностных вод Беларуси является предельно допустимая концентрация (ПДК) химических веществ, устанавливаемая для водных объектов различной категории. В 2020 году мониторинг поверхностных вод проводился на 118 поверхностных объектах (80 водотоках и 38 водоемах). Большинство пунктов наблюдения располагается в пределах населенных пунктов и промышленных зон, т.е. на водотоках и водоемах, находящихся под наиболее сильным воздействием сконцентрированных источников загрязнения.

Результаты и обсуждение. Ресурсы поверхностных вод. В связи с тем, что в современных условиях, под воздействием естественных и антропогенных

факторов, происходят изменения речного стока, полученные результаты за 50-летний период сопоставлялись с данными за период с начала инструментальных наблюдений. Количественная оценка водных ресурсов Беларуси показала, что суммарные поверхностные ресурсы Беларуси практически не изменились [5, 6]. В то же время произошло перераспределение естественных водных ресурсов по бассейнам основных рек. Наряду с увеличением стока Припяти и незначительным ростом водности Западной Двины отмечено уменьшение поверхностных вод остальных речных систем страны за последние годы. Отмечен рост ресурсов поверхностных вод Брестской и Гомельской областей, а для Гродненской области характерно уменьшение водных ресурсов ввиду снижения водности Немана и Вилии.

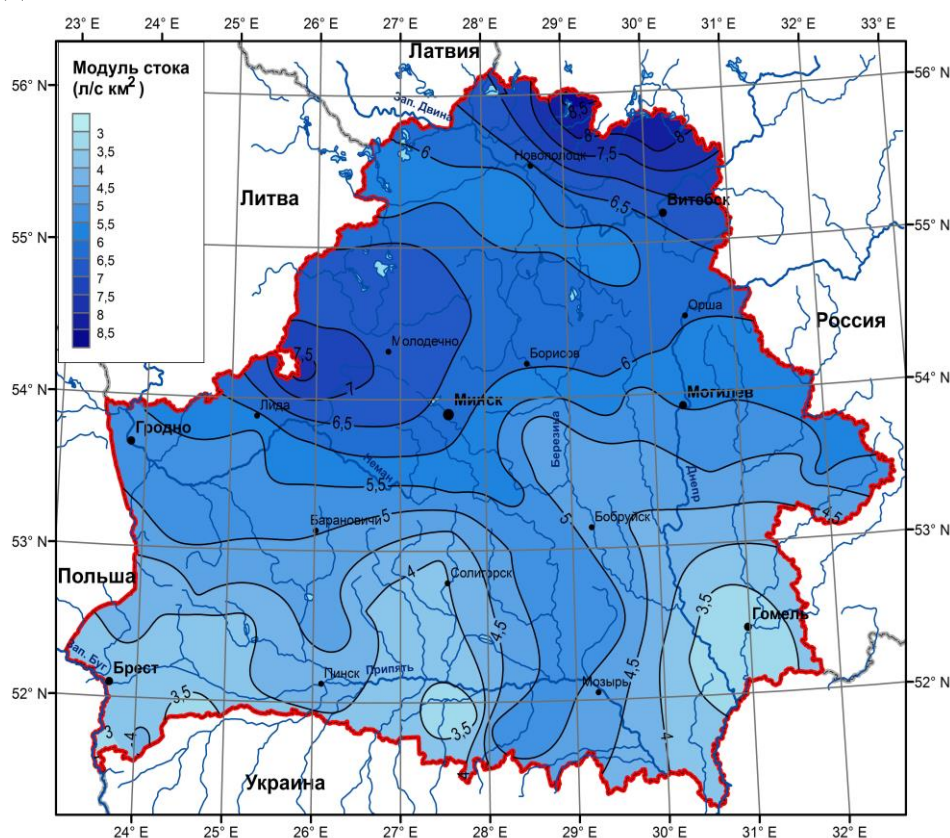


Рисунок 1 – Карта модулей среднемноголетнего годового стока рек Беларуси, л/с с км²

Наглядное представление о пространственной структуре стока рек Беларуси можно получить из карты модулей среднемноголетнего годового стока рек Беларуси осредненный за период с 1953 по 2018 гг., т.е. за последние 65 лет, что позволило учесть усилившиеся в последние десятилетия процессы глобального потепления климата и антропогенных воздействий, которые, несомненно, наложили свой отпечаток на формирование стока рек (рисунок 1) [7]. В распределения годового стока рек Беларуси наблюдается общее зональное понижение его в направлении с севера на юг и юго-запад, что увязывается с распределением годовых осадков и запасов воды в снежном покрове. О характере колебаний речного стока можно судить по карте коэффициентов вариации определенных за тот же период и приведенной в [7].

Использование водных ресурсов. На рисунке 2 представлен хронологический ход водопотребления в Республике Беларусь за период с 1990 по 2020 гг. Из анализа имеющихся данных следует, что потребление воды в Беларуси уменьшается, главным образом, в связи падением водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды, введением приборов учета воды в 1995 г., а также с убылью населения [4, 8, 9].

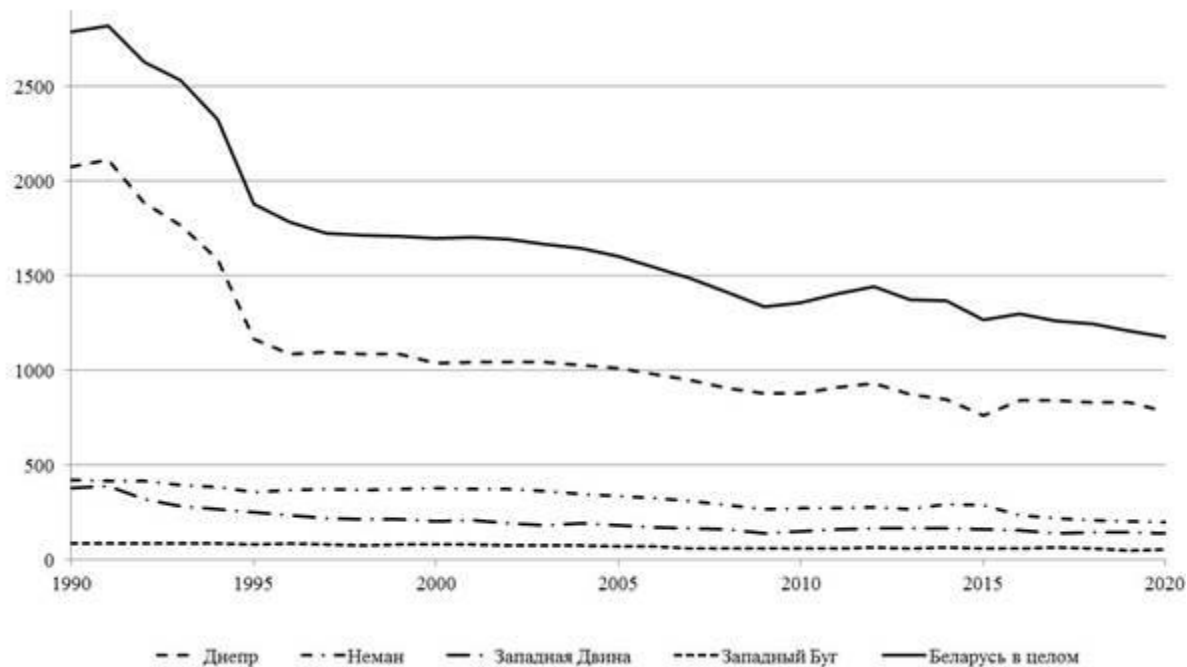


Рисунок 2 – Хронологический ход водопотребления в Республике Беларусь, млн. м³

Следует отметить следующие факты:

- к концу 80-х годов прошлого столетия тенденцию общего водопотребления определяло промышленное водопотребление, но с распадом СССР объемы промышленности стали резко сокращаться, что повлекло за собой уменьшение водопотребления и с середины 90-х годов прошлого столетия ведущую роль заняло хозяйственно-питьевое использование;

- после стабилизации экономической ситуации на рубеже XX и XXI веков, в Беларуси начались внедряться современные маловодные технологии, более широкое распространение получили системы повторного и оборотного водоснабжения, динамика общего водопотребления стала в большей степени зависеть от хозяйственно-питьевого использования, поскольку это основной потребитель воды. За период с 1990 по 2020 гг. сокращение водопотребления составило 1610,5 млн м³/год. Здесь не последнюю роль сыграл факт массового перехода на индивидуальные счетчики учета воды для населения;

- использование воды в сельском хозяйстве и промышленности изменяется медленно и незначительно влияет на общее снижение водопотребления за рассматриваемый период.

Представленные данные о снижении водопотребления в Беларуси не совпадают с общей тенденцией роста водопотребления в мире. Так, на протяжении последних ста лет общее использование воды в мире возросло в девять раз, а количество населения выросло только в четыре раза. Лишь за 1990 – 1995 гг. мировое

водопотребление возросло в пять раз, более чем в два раза превышая рост населения за этот период [10]. Рост водопотребления связан не только с развитием производственно-технологических процессов и с развитием сельского хозяйства, которое забирает на свои нужды около 70 % от общего мирового водопотребления. Рост водопотребления связывают также с существенным увеличением потребления воды в коммунально-бытовом секторе в результате общего увеличения доли городского населения, повышения требований населения к уровню комфорта.

В Беларуси за период 1990 по 2020 гг., водопотребление сократилось на 58 %, тогда как численность населения уменьшилась на 8,5 %. По данным [11] водопотребление в мире распределяется следующим образом: сельское хозяйство – 70 %, промышленность – 22 %, бытовое потребление – 8 %. В Беларуси соответственно – 32 %, 28 % и 40 %.

Удельное водопотребление в бытовом секторе Беларуси за рассматриваемый период постепенно уменьшается. Минимальное водопотребление, равное 114 л/сут. чел отмечалось в 2019 г., максимальное – в 220 л/сут. чел. имело место в 2002 г. Можно предположить, что столь высокое удельное водопотребление в бытовом секторе в 2002 г., существенно превышающее нормативы многих стран, связано не с повышением комфортности быта белорусов и их расточительным потреблением воды, а с утечками из разводящих водопроводных сетей, которые не учитываются отдельной статьей в отчетных документах, а списываются на бытовое потребление. Показатели удельного водопотребления в 2020 г. 117 л/сут. чел. близки к нормам, европейских странах [10].

В последние годы в основных бассейнах Республики Беларусь наблюдается общая тенденция к снижению объема водозабора из природных водных источников. При этом наиболее существенно снижается забор воды из подземных источников. Только в бассейне Западного Буга наблюдается увеличение использования поверхностных вод.

В отраслевом разрезе практически все снижение водопотребления связано с уменьшением забора воды в промышленности и на хозяйственно-питьевые нужды.

Анализ динамики водопотребления Республики Беларусь позволил выделить 3 периода, характеризующихся различной тенденцией изменения водопользования: 1990 – 1996 гг. – резкий спад; 1997 – 2007 гг. – период неустойчивой стабилизации; 2009 г. – по настоящее время период устойчивой стабилизации.

Общее водопотребление в Республике Беларусь в 1990 г. составляло 2790 млн м³, а в 2020 г. составило 1176,9 млн м³ (в т.ч. сельское хозяйство потребило 378,7, население – 474,1, промышленность – 324,1 млн м³), т.е. произошло сокращение на 1613 млн м³ или на 58 %.

Наводнения. По числу жертв и причиненному ущербу наводнения занимают первое место среди стихийных бедствий. Вместе с тем, как это ни парадоксально, до сего времени нет надежных долгосрочных прогнозов их появления, достоверных и общепринятых методик подсчета причиняемых ими ущербов и общепринятой концепции защиты.

За последние 100 лет на реках Беларуси наводнения, причинившие ощутимые ущербы имели место 10 – 12 раз. Наиболее часто, в среднем раз в 2 – 3 года, весенние наводнения бывают на Припяти в верхнем и среднем течении, Западной Двине и раз в 4 – 5 лет на Припяти в нижнем течении, Березине [12]. Наиболее значительными из них явились наводнения в 1956, 1958, 1974, 1979, 1993 и 1999 гг. Одно из последних крупных половодий произошло в 1999 г., когда площадь подтопления составила 255 тыс. га. При этом необходимо отметить, что последствия водной стихии окончательно устраняются только через 3 – 4 года [12].

В таблице 1 представлены наиболее значимые наводнения на реках Беларуси вызванные весенним половодьем за период инструментальных наблюдений.

Таблица 1 – Годы с наводнениями в период весенних половодий [13]

Река-пост	Характеристика наводнения		
	катастрофическое $P < 1\%$	выдающееся $P = 1 - 2\%$	большое $P = 3 - 10\%$
Западная Двина – г. Витебск	1931	1878, 1929, 1956	1958, 1962
Неман – г. Гродно	1958	1931	
Днепр – г. Орша	1931	1908, 1956	1907, 1917, 1929, 1958
Днепр – г. Речица		1956, 1958	1907, 1915, 1916, 1917, 1928, 1947, 1970
Березина – г. Бобруйск		1931, 1956	1883, 1917, 1924, 1932, 1958
Припять – г. Мозырь	1845	1888, 1895, 1979	1886, 1889, 1907, 1924, 1931, 1932, 1934, 1940, 1956, 1958, 1966, 1970, 1999

Детальный анализ наводнений на территории Беларуси представлен в работе [12]. Несмотря на то, что для территории Республики Беларусь проблема наводнений актуальна, практически до высокого летне-осеннего паводка 1974 г. в бассейне р. Припять, строгого учета ущерба от наводнений не проводилось.

Наводнения, как и другие виды чрезвычайных ситуаций природного характера, в определенной степени поддаются прогнозированию, что позволяет предотвратить массовые жертвы среди населения и уменьшить вред.

Избежать катастрофических последствий наводнений можно при соблюдении трех условий: своевременный прогноз чрезвычайной ситуации, эффективные действия властей всех уровней по ее предотвращению, строгая персональная ответственность за несоблюдение первых двух условий [14]. К сожалению, все эти условия в ряде случаев не выполняются. Последнее значимое наводнение было в 1999 г., а, следовательно, за последние годы не было серьезной практической проверки служб, технических возможностей и навыков специалистов и властей всех уровней.

По мнению специалистов, профилактика наводнений, прогнозы, отселение людей, а главное – ремонт дамб и проведение противопаводковых мероприятий, в том числе и экстренных, позволяют предотвратить наводнения примерно в 70 % обычных паводков. При этом затраты на профилактику и ликвидацию последствий наводнений находятся в соотношении 1:30.

Маловодия. Для рек Беларуси характерно наличие в году двух периодов низкого стока – летне-осеннего и зимнего. В летне-осенний период минимальный

сток наблюдается, как правило, в конце лета, начале осени и в зимний период – в конце зимнего периода, когда истощаются подземные воды. Формирование минимальных расходов воды в зимний и летне-осенний период тесно связано с режимом подземного стока и его значение значительно колеблется. Наименьшее подземное питание рек наблюдается на юге территории в бассейне р. Днепр (ниже г. Рогачев), в бассейнах рек Припять и Западный Буг. Небольшое подземное питание наблюдается также на востоке и на крайнем северо-западе Беларуси (бассейн р. Западная Двина). Наибольшее подземное питание наблюдается на северо-западе и центральной части в пределах Ошмянской, Новогрудской, Минской возвышенностей (бассейны рр. Вилия, Неман).

В соответствии с изменением подземного стока распределяется и минимальный сток. Для годового стока изменение модуля стока зависит от широты – уменьшение с севера на юг, а для минимального стока такой закономерности не наблюдается, то есть для минимального стока уменьшается зависимость от климатических факторов и усиливается влияние физико-географических факторов. В первую очередь на величину минимального стока оказывает влияние дренирующая способность рек, которая зависит от геоморфологических и почвенных условий водосборов. На водосборах рек притоков Припяти грунтовые воды очень близко расположены к поверхности, но подземный сток невысокий из-за равнинного рельефа, малых уклонов и малоразвитых, и врезанных на незначительную глубину русел рек. Поэтому здесь наблюдается самый низкий минимальный сток. На реках, отличающихся большими уклонами, повышенным эрозионным врезом (реки бассейна Вилии и Немана), характерно более значительное подземное питание, и поэтому минимальный сток здесь выше.

Многолетний ход минимального стока на малых и средних реках, как правило, соответствует ходу на больших реках.

Минимальные значения наблюдаемых наименьших расходов воды летне-осеннего периода ниже средних многолетних в 1,6 – 3,5 раза, а по отдельным рекам – в 8 раз. В маловодные годы на малых реках может наблюдаться их пересыхание (р. Нача – д. Нача в 2002 г. – 20 дней).

В маловодные годы наблюдаемые наименьшие зимние расходы воды были ниже средних многолетних значений в 1,6 – 8,0 раза на реках бассейна Западной Двины, в 1,7 – 4,0 раза на реках бассейна Немана и Западного Буга, в 2,0-3,5 раза на реках бассейна Днепра, в 2,8 – 3,1 раза на реках бассейна Сожа, в 3,1 – 6,5 раза на реках бассейна Припяти, а на отдельных притоках Припяти наблюдаемые наименьшие зимние расходы воды были ниже средних многолетних значений более, чем в 10 раз (р. Уборть – с. Краснобережье – в 14 раз в 1936 г.).

В пределах Полесья нулевой сток отмечен на 17 водотоках с площадями водосборов 11 – 1280 км². Средняя продолжительность одного случая нулевого стока может достигать летом 195 суток, зимой – 75 – 100 суток.

Качество поверхностных вод. Качественный состав поверхностных вод Беларуси формируется под действием природных и антропогенных факторов. Взаимодействие природных факторов создает уникальный гидрохимический режим, характерный только для данной местности, который выражается в фоновых концентрациях химических элементов. За естественный

гидрохимический фон воды рек Беларуси можно принять речной сток в летнюю межень до проявления значительного антропогенного воздействия, который приведен в [15].

С середины XX века началось ухудшение качества природных вод в связи с увеличением точечного и площадного загрязнения, вызванного промышленностью и сельским хозяйством. Первые значимые изменения в гидрологическом и гидрохимическом режимах водных экосистем датируются концом 1960-х – началом 1970-х годов. Под воздействием антропогенных факторов абиотические и биотические компоненты водных систем претерпели значительные изменения. В воде рек и озер практически повсеместно установлен рост концентраций ряда компонентов, достоверно превышающий их фоновые значения: хлоридов (в 2 – 9 раз), сульфатов (в 1,5 – 2 раза) и щелочных металлов (в 1,3 – 3 раза).

В последнее время антропогенная нагрузка на речные экологические системы стабилизировалась. Наряду с такими факторами загрязнения водотоков и водоемов как сточные воды промышленных предприятий, бытовые стоки, сосредоточенные и рассредоточенные сбросы с сельскохозяйственных угодий, значительную роль в изменении гидрохимического режима рек принадлежит стоку с мелиоративных систем. В результате мелиораций произошло существенное сгущение проводящей сети, что усилило сброс и перенос избытка растворенных солей. Это может привести не просто к трансформации гидрохимического режима, а и к изменению экологического статуса данной территории.

По данным наблюдений на 2020 год количество водотоков Беларуси с отличным гидрохимическим статусом увеличилось по сравнению с 2014 годом на 6,98 %. Уменьшилось количество рек со статусом хороший на 5,61 %, в тоже время увеличилось количество рек со статусом удовлетворительный на 1,37 %, по сравнению с 2014 годом.

Что же касается гидробиологического статуса в 2020 г., то по сравнению с 2014 г. количество водотоков с отличным статусом увеличилось на 3,46 %, а с хорошим статусом уменьшилось на 10,23 %. Также возросло количество водотоков с удовлетворительным статусом на 6,79 % и зафиксировано появление водотоков с плохим статусом.

Анализ динамики изменения концентраций химических элементов в водах водотоков и водоемов, уменьшение количества сбрасываемых сточных вод никак не сказывается на уменьшении концентрации загрязнения. Это связано, прежде всего, с тем, что помимо количества сбрасываемых сточных вод необходимо учитывать специфику отрасли и концентрацию загрязнения [16].

При рассмотрении распределения сброса сточных вод по отраслям экономики, основная масса приходится на сельское, лесное, рыбное хозяйство и водоснабжение. Это свидетельствует о том, что основными загрязняющими

веществами будут являться биогенные элементы. Подтверждением тому служат данные наблюдений за гидрохимическим режимом поверхностных вод. Приоритетными компонентами загрязняющих веществ в составе сбрасываемых сточных вод для большинства бассейнов рек являются аммоний-ион, фосфат-ион, нитрит-ион, БПК₅, соединения железа общего [17].

В доаварийный период концентрации ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде р. Припять составляли соответственно 0,0033 – 0,00185 и 0,00185 – 0,0066 Бк/дм³. В первые дни после аварии суммарная бета-активность воды р. Припять в районе Чернобыльской атомной электростанции превышала 3000 Бк/дм³ и только к концу мая 1986 г. снизилась до 150 – 200 Бк/дм³. Максимальные концентрации плутония – 239 в воде р. Припять составили 0,37 Бк/дм³. В настоящее время наиболее высокое содержание стронция-90 в воде р. Припять (г. Мозырь) находится в пределах от 2 до 6 Бк/м³; в воде р. Днепр (г. Речица) – от 1 до 9 Бк/м³; в воде р. Сож (г. Гомель) – от 2 до 14 Бк/м³; в воде р. Ипуть (г. Добруш) – от 3 до 16 Бк/м³; в воде р. Беседь (д. Светиловичи) – от 3 до 43 Бк/м³, а также в старицах Припяти на территории зоны отселения. Концентрации ^{137}Cs в воде значительно ниже допустимых концентраций по нормам радиационной безопасности и не превышает республиканский допустимый уровень по его содержанию в питьевой воде. Но он все еще выше доаварийных значений.

Тенденции изменения гидрохимического режима носят разнонаправленный характер. Существует тенденция к увеличению антропогенной нагрузки, характеризующейся увеличением концентрации биогенных элементов. Основным направлением для решения данного вопроса является более детальный подход к очистке сточных вод. Интенсификация работы очистных сооружений, строительство локальных очистных сооружений для промышленных и сельскохозяйственных комплексов и др.

Еще одним направлением в борьбе за сохранение экологически благоприятной обстановки, является новый подход к нормированию и расчету химических компонентов и загрязнителей поверхностных вод, которые бы учитывали характер и специфику производства, расположенного в бассейне той или иной реки, а также природные фоновые концентрации.

Процесс загрязнения водных объектов приостановился и наметились позитивные тенденции к улучшению экологического состояния отдельных речных бассейнов. Однако, несмотря на снижение сброса загрязненных сточных вод, существенного улучшения качества поверхностных вод в настоящее время еще не наблюдается.

Магистральным направлением улучшения качества природных вод остается снижение антропогенной нагрузки и восстановление экологического благополучия водных объектов, а именно интенсификация работы коммунальных очистных сооружений, строительство локальных очистных сооружений на предприятиях АПК, очистка дождевого стока и т. д.

Антропогенные воздействия на речной сток. Начиная с 50-х годов прошлого столетия, развернулась дискуссия о влиянии мелиорации на речной сток. Основное воздействие на водный режим рек было оказано в период широкомасштабных гидротехнических мелиораций, особенно в Полесской низменности. При этом водные ресурсы Полесья сильнее других регионов подверглись антропогенным воздействиям. Было осушено 23 % территории, общая протяженность открытой мелиоративной сети превысила 65000 км, существенно преобразовалась гидрографическая сеть, особенно, если учесть спрямление и углубление самой Припяти и крупных ее притоков. Кроме того, обвалование отдельных участков Припяти и строительство польдерных мелиоративных систем, которые исключают затопление обвалованных участков поймы, привело к тому, что грунтовые воды понизились на 1,0 – 1,5 м, вслед за ними снизились уровни воды в реках, в некоторых – вплоть до пересыхания. Все это выразилось в изменении гидрологического режима рек.

Оценка изменений речного стока Беларуси за период с 1877 по 2018 гг. показала, что в среднем по территории имеет место некоторая тенденция уменьшения среднегодового стока, хотя статистически и незначимая. Максимальные сток весеннего половодья статистически значимо уменьшается со скоростью $-0,051 \cdot Q_{\max}$, а минимальный летне-осенний и зимний сток – растет со скоростью $0,010 Q_{\min.л.-о}$ и $0,047 Q_{\min.з.}$, соответственно (таблица 2). За период современного потепления тенденции изменения стока имеют такую же тенденцию как период инструментальных наблюдений, за исключением минимального летне-осеннего стока. За последние 50 лет сохраняется аналогичная тенденция изменения стока. Статистически значимы уменьшение максимального стока весеннего половодья и рост минимального зимнего стока.

Таблица 2 – Значение линейных трендов стока рек Беларуси

Период	1877 – 2018 гг. (142 года)	1877 – 1986 гг. (110 лет)	1987 – 2018 (32 года)	1969 – 2018 (50 лет)
Вид стока	<i>Средний годовой</i>			
$\alpha_{10 \text{ лет}} / r$	-0,001 $Q_{\text{ср.год}}$ / -0,03	-0,006 $Q_{\text{ср.год}}$ / -0,10	-0,047 $Q_{\text{ср.год}}$ / -0,22	0,004 $Q_{\text{ср.год}}$ / 0,03
Вид стока	<i>Максимальный весеннего половодья</i>			
$\alpha_{10 \text{ лет}} / r$	-0,051 Q_{\max} / -0,42	-0,031 Q_{\max} / -0,20	-0,025 Q_{\max} / -0,10	-0,065 Q_{\max} / -0,32
Вид стока	<i>Минимальный летне-осенний</i>			
$\alpha_{10 \text{ лет}} / r$	0,010 $Q_{\min.л.-о}$ / 0,17	0,004 $Q_{\min.л.-о}$ / 0,05	-0,096 $Q_{\min.л.-о}$ / -0,34	-0,008 $Q_{\min.л.-о}$ / -0,05
Вид стока	<i>Минимальный зимний</i>			
$\alpha_{10 \text{ лет}} / r$	0,047 $Q_{\min.з.}$ / 0,52	0,025 $Q_{\min.з.}$ / 0,27	0,088 $Q_{\min.з.}$ / 0,21	0,095 $Q_{\min.з.}$ / 0,32

Выделены статистически значимые величины.

Детальная оценка изменения стока основных рек Беларуси за рассматриваемые периоды представлены в таблице 3, а на рисунке 3 приведена динамика изменения модулей максимального стока весеннего половодья и минимального зимнего стока.

Таблица 3 – Статистические характеристики гидрологических параметров рек Беларуси

Параметры	Припять-Мозырь	Неман-Гродно	Зап. Двина-Витебск	Березина-Бобруйск	Днепр-Орша	Днепр-Речица	Припять-Мозырь	Неман-Гродно	Зап. Двина-Витебск	Березина-Бобруйск	Днепр-Орша	Днепр-Речица
Вид стока	<i>Средний годовой</i>											
Период	1877 – 2018 гг. (142 года)						1877 – 1986 гг. (110 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	394	195	226	119	127	364	387	198	221	119	125	365
C_v	0,31	0,18	0,27	0,19	0,26	0,21	0,31	0,18	0,27	0,19	0,26	0,22
α_{10} лет	3,27	-0,79	-0,06	-0,02	-0,34	-3,08	2,20	0,41	0,08	-2,76	-1,97	-5,55
r	0,11	-0,09	-0,01	0,00	-0,04	-0,16	0,06	0,04	0,01	-0,15	-0,20	-0,22
% от $Q_{\text{ср}}$	0,83	-0,41	-0,03	-0,02	-0,27	-0,85	0,57	0,21	0,04	-2,32	-1,58	-1,52
Период	1987 – 2018 (32 года)						1969 – 2018 (50 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	418	184	242	118	134	360	432	188	228	117	126	348
C_v	0,29	0,16	0,27	0,19	0,26	0,20	0,29	0,16	0,27	0,17	0,25	0,19
α_{10} лет	-6,42	-0,16	-3,66	-29,3	-9,40	-10,5	-15,75	-2,59	-0,33	5,75	4,33	7,27
r	-0,05	0,00	-0,15	-0,42	-0,26	-0,14	-0,18	-0,13	-0,02	0,14	0,20	0,16
% от $Q_{\text{ср}}$	-1,54	-0,09	-1,51	-24,8	-7,02	-2,92	-3,65	-1,37	-0,14	4,91	3,44	2,09
Период	1877 – 2018 гг. (142 года)						1877 – 1986 гг. (110 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	1599	798	1517	594	793	1730	1760	887	1608	679	875	1969
C_v	0,72	0,57	0,36	0,71	0,44	0,59	0,70	0,54	0,33	0,64	0,40	0,52
α_{10} лет	-75,2	-39,0	-35,8	-44,4	-40,3	-106,1	-51,9	-19,8	-16,4	-28,2	-28,2	-81,3
r	-0,27	-0,35	-0,35	-0,34	-0,47	-0,47	-0,13	-0,13	-0,12	-0,17	-0,26	-0,25
% от $Q_{\text{ср}}$	-4,70	-4,89	-2,36	-7,48	-5,08	-6,13	-2,95	-4,40	-1,02	-4,15	-3,22	-4,13
Период	1987 – 2018 (32 года)						1969 – 2018 (50 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	1047	492	1203	300	510	911	1266	549	1229	356	536	1024
C_v	0,58	0,40	0,37	0,51	0,38	0,41	0,68	0,53	0,34	0,59	0,34	0,49
α_{10} лет	106,2	-57,7	-15,3	-110,3	-24,3	-33,7	-169,7	-60,1	-49,5	-47,2	-26,8	-102,3
r	0,20	-0,27	-0,09	-0,23	-0,12	-0,08	-0,29	-0,30	-0,34	-0,16	-0,21	-0,30
% от $Q_{\text{ср}}$	10,1	-11,7	-1,27	-36,8	-4,77	-3,7	-13,4	-10,9	-4,03	-13,3	-5,00	-9,99
Период	1877 – 2018 гг. (142 года)						1877 – 1986 гг. (110 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	155	89,5	52,2	55,6	34,0	154	149	90,2	51,4	54,8	31,2	149
C_v	0,47	0,19	0,41	0,22	0,36	0,24	0,48	0,18	0,42	0,22	0,34	0,22
α_{10} лет	2,70	0,26	0,19	-0,18	1,08	1,40	2,34	1,19	-0,12	-0,76	0,44	-0,14
r	0,15	0,06	0,06	-0,03	0,36	0,16	0,10	0,23	-0,03	-0,11	0,13	-0,01
% от $Q_{\text{ср}}$	1,75	0,29	0,36	-0,32	3,18	0,91	1,57	1,32	-0,23	-1,39	1,41	-0,09
Период	1987 – 2018 (32 года)						1969 – 2018 (50 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	174	86,8	55,0	58,7	43,5	171	183	90,4	51,5	58,7	40,0	164
C_v	0,41	0,21	0,37	0,22	0,30	0,26	0,39	0,20	0,34	0,21	0,29	0,23
α_{10} лет	-21,3	-3,90	-3,60	-8,11	-2,92	-14,0	-13,9	-3,49	-0,93	0,90	2,26	1,81
r	-0,28	-0,20	-0,26	-0,37	-0,21	-0,30	-0,28	-0,29	-0,11	0,07	0,28	0,07
% от $Q_{\text{ср}}$	-12,2	-4,49	-6,54	-13,8	-6,71	-8,21	-7,58	-3,86	-1,81	1,53	5,66	1,10
Период	1877 – 2018 гг. (142 года)						1877 – 1986 гг. (110 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	155	71,5	53,2	51,5	29,6	129	136	69,8	47,8	48,4	24,7	109
C_v	0,68	0,30	0,48	0,28	0,52	0,48	0,75	0,29	0,43	0,26	0,42	0,42
α_{10} лет	10,6	0,47	1,41	-0,18	2,19	9,31	8,54	-0,52	0,79	-0,76	1,27	5,70
r	0,41	0,09	0,40	-0,03	0,58	0,62	0,27	-0,08	0,20	-0,11	0,39	0,40
% от $Q_{\text{ср}}$	6,82	0,66	2,65	-0,35	7,40	7,23	6,27	-0,75	1,65	-1,57	5,14	5,24
Период	1987 – 2018 (32 года)						1969 – 2018 (50 лет)					
$Q_{\text{ср}}$, м ³ /с	221	77,5	72,0	62,0	46,4	198	225	72,8	64,2	59,8	42,0	180
C_v	0,42	0,31	0,43	0,26	0,40	0,31	0,59	0,37	0,45	0,27	0,41	0,35
α_{10} лет	27,5	12,0	3,30	-8,11	-0,08	6,35	2,70	7,58	2,56	0,90	3,76	17,1
r	0,28	0,46	0,19	-0,37	0,00	0,10	0,03	0,41	0,23	0,07	0,32	0,40
% от $Q_{\text{ср}}$	12,4	15,5	4,58	-13,1	-0,17	3,21	1,20	10,4	3,99	1,51	8,95	9,52

Выделены статистически значимые величины.

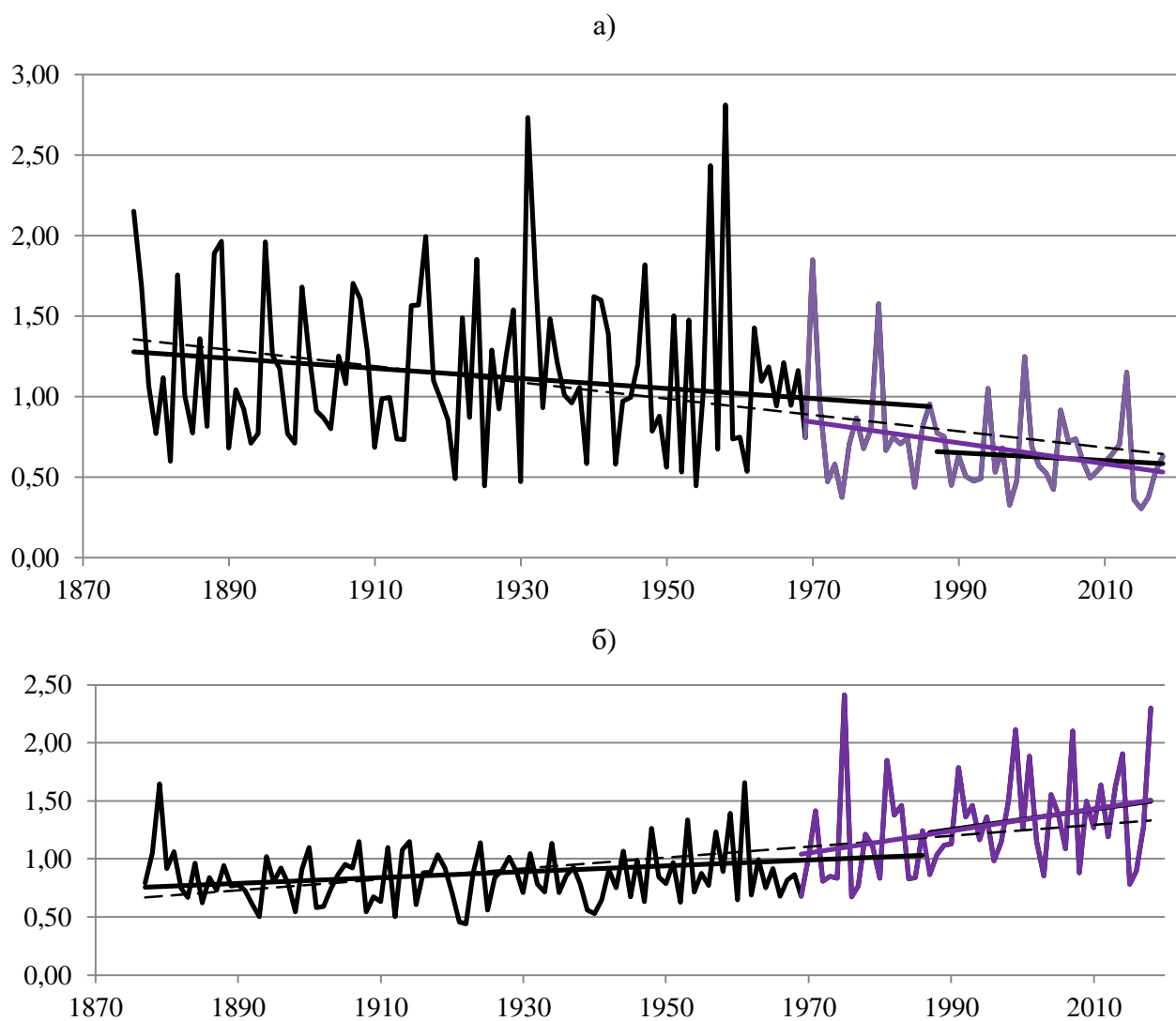


Рисунок 3 – Динамика модулей стока воды рек Беларуси: а) – максимальных весеннего половодья; б) – минимальных зимних

Прогнозные оценки изменения водных ресурсов при различных сценариях будущего. Современное климатические колебания, несомненно, окажут влияние на трансформацию речного стока в будущем. Используя гидролого-климатическую гипотезу В. С. Мезенцева [18] и сценарии изменения климата для бассейнов рек Беларуси на период до 2035 года, нами получены прогнозные оценки изменения стока рек Беларуси [19]. Прогноз стока на период до 2035 года в основном подтвердил выявленные современные тенденции его изменения. По прогнозному изменению объемов стока также возможна резкая дифференциация между северной и южной частью республики, между малыми и большими реками. При незначительном изменении стока в среднем за год, высокая вероятность его неравномерности и разнонаправленности в сезоны и месяцы. Особенно значительно может изменяться сток в летние месяцы с его снижением во все сезоны на юге Беларуси. Вместе с тем для севера Беларуси прогнозируются не столь значительные изменения стока, как для юга (таблица 4).

Таблица 4 – Прогноз изменения речного стока до 2035 года для бассейнов основных рек Беларуси, в % от современного состояния

Река – створ	Зима	Весна	Лето	Осень	среднегодовой
Припять – Мозырь	0,23	1,60	-20,63	-2,40	-5,30
<i>В среднем по бассейну:</i>	<i>-1,33</i>	<i>-6,47</i>	<i>-24,57</i>	<i>-8,46</i>	<i>-10,23</i>
Неман – Гродно	22,08	8,12	9,79	-1,91	8,66
<i>Среднее по бассейну:</i>	<i>19,76</i>	<i>6,78</i>	<i>1,45</i>	<i>-7,40</i>	<i>4,75</i>
Западная Двина – Витебск	10,63	10,47	24,17	2,80	9,20
<i>Среднее по бассейну:</i>	<i>10,64</i>	<i>9,35</i>	<i>21,39</i>	<i>1,12</i>	<i>8,92</i>
Днепр – Орша	0,60	-1,10	-10,23	3,37	-1,80
Днепр – Речица	22,17	6,30	0,10	-12,43	4,00
Березина – Бобруйск	4,30	-18,37	-2,07	-10,8	-6,70
<i>В среднем по бассейну:</i>	<i>4,28</i>	<i>-4,47</i>	<i>-12,14</i>	<i>-8,48</i>	<i>-5,21</i>

Следует отметить, что прогнозные оценки изменения стока рек в условиях изменяющегося климата следует рассматривать как вероятностные, связанные с допущением ряда неопределенностей. Однако значимость оценок и прогнозов речного стока определяется целесообразностью их последующего учета при планировании водоохраных и водохозяйственных мероприятий, связанных с совершенствованием управления речными бассейнами в Беларуси. Особенно это актуально в связи с тем, что одним из наиболее негативных последствий изменения климата для речного стока является возможное увеличение частоты и интенсивности неблагоприятных метеорологических и гидрологических явлений. К этим явлениям относятся ливни, засухи, поздние заморозки, наводнения, обусловленные дождевыми паводками и весенними половодьями, особенно при соединении факторов таяния снега и осадков в виде мокрого снега и дождя, а также возможного увеличения продолжительности половодья. Усиление неравномерности внутригодового перераспределения стока и увеличение рисков наводнений, обусловленных резкими оттепелями в зимний период, более ранним наступлением весеннего половодья и увеличением интенсивности дождевых паводков может привести к увеличению рисков экстремальных явлений. Проблема возникновения маловодных периодов, приводящих к засухам, также актуальна для бассейнов рек Беларуси. Хотя в настоящее и будущее время нет явных предпосылок для возникновения дефицита водных ресурсов, тем не менее, повышается вероятность наступления длительных маловодных периодов. Во время маловодных периодов может произойти ухудшение экологического состояния и рекреационного потенциала поверхностных водных объектов и прилегающих территорий, изменение гидрогеологического режима грунтовых вод, истощение почвенного покрова в пойме и т. п. Кроме того, за счет возможного увеличения частоты и продолжительности засушливых периодов повышаются риски существенного уменьшения стока малых рек со снижением в них уровня воды, ухудшением ее качества и уменьшением рекреационного потенциала этих рек.

Заключение. Суммарные ресурсы поверхностных вод Беларуси практически не изменились. В то же время произошло перераспределение естественных водных ресурсов по бассейнам основных рек. Современный этап использования водных ресурсов в Республике Беларусь характеризуется стабилизацией их

потребления. В обозримом будущем в стране не следует ожидать значительного роста или падения водопотребления и существующие водные ресурсы в полной мере будут удовлетворять потребностям всех отраслей экономики и требованиям экологического стока. Однако это не снимает с повестки дня вопросов очистки природных и сточных вод, сохранения качества природных вод, обеспечения безопасности функционирования водных экосистем.

Интенсивное освоение речных пойм в совокупности с прогнозируемым изменением климата приведут к увеличению разрушительной силы наводнений и их повторяемости. Минимизировать негативные последствия катастрофических наводнений можно имея своевременный прогноз и эффективные действия властей. К сожалению, эти условия в ряде случаев не выполняются. Борьба с наводнениями является межгосударственной проблемой, и в ее решении должны принимать все страны, расположенные на водосборе.

Прогнозируемое потепление климата вызовет изменения водного режима рек, поэтому разработка и реализация мер по адаптации к изменению климата в части совершенствования управления водными ресурсами является актуальной задачей.

Главной задачей в исследовании водных ресурсов Беларуси на нынешнем этапе является их комплексная оценка современного состояния с учетом пространственно-временных колебаний и изменений основных составляющих водного баланса речных водосборов. При этом необходимо учитывать влияние на них различных природных и антропогенных факторов, прогноз изменения водных ресурсов при различных сценариях развития климата. На основе полученных научных результатов разработать мероприятия по минимизации возможных негативных последствий в случае изменения режима водных ресурсов.

Список цитированных источников

1. Блакітны скарб Беларусі: Рэкі, азёры, вадасховішчы, турысцкі патынцыял водных аб'ектаў / маст.: Ю. А. Тарэеў, У. І. Цярэнцьеў. – Мінск : БелЭн, 2007. – 480 с.
2. Волчек, А. А. Оптимизация режимной гидрологической сети Беларуси // А. А. Волчек // Мелиорация. – №4(94). – 2020. – С. 24–29.
3. Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Веснік Палескага дзяржаўнага ўніверсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. № 1. – 2009. – С. 22–30.
4. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник: [2014 – 2020] / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – 2021. – 202 с.
5. Логинов, В. Ф. Современные изменения водных ресурсов Республики Беларусь / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, С. И. Парфомук // География и природные ресурсы. – № 4. – 2008. – С. 149–154.

6. Волчек, А. А. Водные ресурсы Республики Беларусь на современном этапе / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – № 2(68). – 2011. – С. 2–5.
7. Волчек, А. А. Пространственно-временная структура среднемноголетнего годового стока рек Беларуси / А. А. Волчек, С. В. Сидак, С. И. Парфомук // Вестник Брестского государственного технического университета. – № 2 (125). – 2021. – С. 75–80.
8. Волчек, А. А. Использование водных ресурсов Беларуси и их дифференциация по основным водосборам / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Водное хозяйство России. – № 5. – 2017. – С. 16–33.
9. Волчек, А. А. Динамика распределения водных ресурсов Беларуси между секторами экономики / А. А. Волчек, Т. Е. Зубрицкая // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – № 2(115). – 2019. – С. 6–9.
10. Данилов-Данильян, В. И. Водные ресурсы мира и перспективы водохозяйственного комплекса России / В. И. Данилов-Данильян. М. : ООО «Типография ЛЕВКО». – 2009. – 88 с.
11. Gleick, P. H. Global freshwater resources: soft-path solutions for the 21- th century / P. H. Gleick // Science. 2003. 302. № 5650. P. 1524–1527.
12. Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.
13. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: справочник / Мин-во природ. Ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь; под общ. ред. М. А. Гольберга – Минск : Белорусский научно-исследовательский центр Экология. – 2002. – 132 с.
14. Воробьев, Ю. Л. Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы / Ю. Л. Воробьев, В. А. Акимов, Ю. И. Соколов. – М. : ООО "ДЭКС-ПРЕСС", 2003. – 352 с.
15. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Л. : Гидрометеиздат. – Т. 5. – Ч. 1. 1966. – 718 с.; – Ч. II. – 1966. – 621 с.
16. Волчек, А. А. Трансформация гидрохимического режима поверхностных вод Беларуси / А. А. Волчек, М. А. Таратенкова // Вестник БГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – № 2(110). – 2018. – С. 3–16.
17. Государственный водный кадастр: Водные ресурсы, их использование и качество воды (за 2020 гг.). – Минск : ЦНИИКИВР, 2021. – 223 с.
18. Мезенцев, В. С. Гидролого-климатическая гипотеза и примеры ее использования / В. С. Мезенцев // Водные ресурсы. – Том 22. – № 3. – 1995. – С. 299 – 301.
19. Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, С. И. Парфамук, И. А. Булак / Под общ. ред. А. А. Волчека, В. Н. Корнеева. Брест : Альтернатива, 2017. – 228 с.

СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВБЛИЗИ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

А. А. Волчек¹, А. В. Безручко²

¹УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, volchak@tut.by

²Брестский областной комитет природных ресурсов и охраны окружающей среды, Брест, Беларусь, alena-bezruchko@yandex.by

Аннотация

В работе рассмотрена экологическое состояние подземных вод вблизи полигонов твердых коммунальных отходов при осуществлении локального мониторинга.

Оценка воздействия объектов на состояние подземных вод проводилась в период с 2019 по 2021 годы путем сравнения фактических концентраций загрязняющих веществ в наблюдательных и фоновых скважинах. Полученные данные позволили оценить динамику загрязнения подземных вод вблизи объектов захоронения, способность к миграции и разбавлению тех или иных химических элементов.

Вопрос усовершенствования системы локального мониторинга компонентов окружающей среды на сегодняшний день является актуальным.

Ключевые слова: полигон твердых коммунальных отходов, подземные воды, локальный мониторинг, наблюдательные скважины, химический элемент.

THE STATE OF GROUNDWATER NEAR MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILLS

A. A. Volchak, A. V. Biazruchka

Abstract

The paper considers the ecological state of groundwater near solid municipal waste landfills in the implementation of local monitoring.

The assessment of the impact of objects on the state of groundwater was carried out for 2015-2019 by comparing the actual concentrations of pollutants in observation and background wells. The data obtained made it possible to assess the dynamics of groundwater pollution near the landfills, the ability to migrate and dilute certain chemical elements.

The issue of improving the system of local monitoring of environmental components is relevant today.

Keywords: municipal solid waste landfill, groundwater, local monitoring, observation wells, chemical element.

Введение. Мониторинг окружающей среды представляет собой систему наблюдений за её состоянием, оценкой и прогнозом изменений этого состояния под воздействием природных и антропогенных факторов. В целях обеспечения взаимодействия систем наблюдения за состоянием окружающей среды, получения и предоставления полной, достоверной и своевременной

экологической информации создана Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (далее – НСМОС) [1].

Исследование и оценка риска загрязнения подземных вод является важным техническим средством для понимания уровня воздействия объектами захоронения отходов окружающей среды, а также прогнозирования тенденций и оценки риска загрязнения [2].

Мониторинг подземных вод представляет собой систему регулярных наблюдений за состоянием подземных вод по гидрогеологическим, гидрохимическим и другим показателям, оценки и прогноза его изменения в целях своевременного выявления негативных процессов, предотвращения их вредных последствий и определения эффективности мероприятий, направленных на рациональное использование и охрану подземных вод.

Пунктами наблюдений государственной сети за состоянием подземных вод (далее - пункты наблюдений) являются наблюдательные скважины, оборудованные на разные водоносные горизонты и слабопроницаемые разделяющие отложения и включенные в государственный реестр Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь [3, 4].

Объектами мониторинга подземных вод являются грунтовые и артезианские подземные воды.

Цель работы – изучение экологического состояния подземных вод вблизи полигонов твердых коммунальных отходов при осуществлении локального мониторинга.

Методы исследования и исходные данные. Анализ результатов произведен на основании полученных данных лабораторией ГУ РЦАК Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и статистического отчета захораниваемых отходов производства на полигонах Брестского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды.

Оценка воздействия объекта захоронения на состояние подземных вод, в соответствии с требованием, проводилась за последние четыре года, путем сравнения фактических концентраций загрязняющих веществ в наблюдательных и фоновых скважинах (показатель $C_{\text{набл.}}/C_{\text{фон}}$).

Результаты наблюдений. Одной из крупных экологических и социальных проблем урбанизированных территорий является снижение негативного воздействия полигонов твердых коммунальных отходов на объекты гидросферы.

Полигоны твердых коммунальных отходов являются объектами высокого экологического риска загрязнения окружающей среды. Важным фактором, определяющим негативное воздействие полигонов захоронения, является свалочный фильтрат [11]. На протяжении всей эксплуатации объекта захоронения твердых коммунальных отходов фильтрат является постоянным источником загрязнения подземных вод [5].

В целях снижения вредного воздействия на компоненты окружающей среды полигоны оборудуются специальными инженерными сооружениями, согласно действующего природоохранного законодательства Республики Беларусь.

Проектирование, строительство полигонов твердых коммунальных отходов на территории области регламентируется Законом Республики Беларусь «Об обращении с отходами» и иными нормативно-правовыми актами, действующими на территории республики [6].

В настоящее время для захоронения твердых коммунальных отходов на территории Брестской области действует 28 полигонов твердых коммунальных отходов.

Химический состав подземных вод, формирующийся под влиянием многих природных и антропогенных факторов характеризуется большим разнообразием. Информация о загрязнении подземных вод в местах размещения потенциальных и выявленных источников их загрязнения крайне важна. Полигон твердых коммунальных отходов является таким источником. Данная информация необходима для принятия решений по снижению загрязнения и оценки эффективности природоохранных мероприятий.

Под пунктом наблюдения необходимо понимать фоновую скважину (колодец) и наблюдательные скважины полигонов. Периодичность наблюдений составляет не реже 1 раза в год на каждом объекте захоронения. Пробы отбирают как представители лаборатории аналитического контроля при Министерстве природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, так и само предприятие, которое эксплуатирует объект захоронения [3, 4, 7]. Предприятие может приглашать и иные аккредитованные лаборатории республики для контрольного анализа отобранных проб.

С целью постоянного мониторинга качества подземных вод вблизи 28 полигонов твердых коммунальных отходов в области насчитывается 120 пунктов наблюдений локального мониторинга. На каждую скважину имеются документы в которых содержится исчерпывающая информация о глубине пробуренной скважины, времени установки, залегания подземных вод, периодичность отбора проб и т.д.

Параметры наблюдений установлены для всех пунктов наблюдений одинаковые. Качество подземной воды в республике контролируется по 20 показателям.

Параметры наблюдений, периодичность наблюдений, количество пунктов наблюдений вблизи объектов захоронения в разрезе административных районов области приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Количество и местонахождение пунктов наблюдений локального мониторинга окружающей среды, перечень параметров, периодичность наблюдений и перечень юридических лиц, осуществляющих проведение локального мониторинга окружающей среды

№ п/п	Административно территориальная единица	Пункты наблюдений локального мониторинга	
		количество	наименование и местонахождение, источник вредного воздействия на окружающую среду
1	Барановичский район	10	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон твердых коммунальных отходов (далее - полигон ТКО), г. Барановичи, н.п. Деревная

2	Березовский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО, н.п. Пески
3	Березовский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО, н.п. Первомайская
4	Брестский район	4	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО д.Медно Брестского района
5	г. Брест	4	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Брест, Знаменский с/с, 60
6	Брестский район	2	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО, н.п. Омелино
7	Ганцевичский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО, 5 км от н.п. Ганцевичи
8	Дрогичинский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины полигон ТКО, н.п. Семеновщина
9	Жабинковский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО, н.п. Саки
10	Жабинковский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Жабинка, в урочище «Боры», 10 км западнее г. Жабинка
11	Ивановский район	12	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО н.п. Снитово, 2,8 км южнее г. Иваново
12	Ивацевичский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО н.п. Телеханы, 0,7 км юго-западнее д. Краглевичи
13	Ивацевичский район	4	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО, 0,9 км южнее н.п. Михновичи
14	Ивацевичский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО, 0,5 км южнее н.п. Косово
15	Каменецкий район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Каменец, 1,5 км от н.п. Кукольчицы
16	Каменецкий район	4	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Высокое, 0,6 км от д. Суходол
17	Кобринский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Кобрин, н.п. Каташи
18	Лунинецкий район	6	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Лунинец, н.п. Ракитно, 6 км восточнее г. Лунинца
19	Лунинецкий район	6	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Микашевичи, 9 км северо-западнее г. Микашевичи
20	Ляховичский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Ляховичи, н.п. Грушевка
21	Малоритский район	7	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Малорита, 2,5 км от г. Малорита и 0,3 км севернее от н.п. Збураж

22	г.Пинск	5	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Пинск, н.п. Вулька Городищенская
23	Пинский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО, н.п. Логишин
24	Пружанский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Пружаны, 6 км от н.п. Слобудка
25	Пружанский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО н.п. Ружаны, н.п. Близная (2 км от н.п. Ружаны)
26	Столинский район	4	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Столин, н.п. Глинка
27	Столинский район	3	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Давид-Городок
28	Столинский район	5	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО г. Давид-Городок - аг. Олышаны

Все объекты захоронения твердых коммунальных отходов находятся на балансе службы жилищно-коммунального хозяйства.

На 28 полигонах ТКО захораниваются отходы производства 3-го, 4-го и неопасного класса опасности, согласно полученным разрешениям на хранение и захоронение отходов производства выдаваемых территориальными органами Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и отходы потребления, которые образуются от населения [8, 9].

Мониторинг подземных вод представляет собой систему регулярных наблюдений за состоянием подземных вод возле объектов захоронения твердых коммунальных отходов Брестской области, в целях своевременного выявления негативных процессов, предотвращения их вредных воздействий на окружающую среду и определения эффективности мероприятий, направленных на сохранение биоразнообразия.

Качество подземных вод анализируется по 20 показателям: уровень воды, температура, рН, минерализация воды, концентрация аммоний-иона (в пересчете на азот), нитрат-иона (в пересчете на азот), сульфат-иона, хлорид-иона, фосфат-ион (в пересчете на фосфор), СПАВ, железа общего, кадмия, марганца, меди, никеля, ртути, свинца, хрома, цинка, нефтепродуктов.

Локальный мониторинг окружающей среды, является одним из 12 видов мониторинга в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь и проводится юридическими лицами за счет собственных средств. Наблюдения проводятся лабораториями природопользователей либо другими аккредитованными лабораториями. Организацию и координацию работ по проведению локального мониторинга осуществляет Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, контроль за проведением локального мониторинга осуществляют территориальные органы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [10].

Сбор, хранение, обобщение данных локального мониторинга, подготовку информации по результатам проведения локального мониторинга осуществляет информационно - аналитический центр локального мониторинга, функционирующий на базе государственного учреждения «Республиканский центр аналитического контроля в области охраны окружающей среды».

Проведение наблюдений локального мониторинга, объектом наблюдения которого являются подземные воды, при установленной периодичности наблюдений 1 раз в год осуществляется в период спада весеннего половодья (постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 01.02.2007 № 9 в редакции постановления Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 11.01.2017 № 4). Вместе с тем, стоит отметить что все 28 полигонов оснащены наблюдательными скважинами, однако количество их на объектах захоронения различно.

Так, на полигоне ТКО д. Омелино Брестского района размещено 2 наблюдательные скважины. Полигон д. Омелино мощностью 15,25 тыс. т/год эксплуатируется с 2007 года. На баланс КПУП «Брестский мусороперерабатывающий завод» объект передан в 2017 году. Согласно проектно-сметной документации и акту ввода в эксплуатацию на полигоне находится две скважины для проведения локального мониторинга.

Наблюдательные колодцы в районе полигона ТКО г.п. Ружаны Пружанского района размещаются на значительном расстоянии от объекта захоронения. Согласно информации Пружанского КУПП «Коммунальник» в качестве пунктов наблюдения за состоянием подземных вод используются шахтные колодцы, расположенные в г.п. Ружаны, д. Близная (расстояние от полигона 5,4 км) и д. Ковали (расстояние от полигона 6,3 км). Строительство полигона ТКО в г.п. Ружаны (1-ая карта) осуществлялось в 1997 году, второй карты – в 2015 году. При проектировании полигона ТКО в г.п. Ружаны строительство наблюдательных скважин не предусматривалось. Изначально проектно-сметной документацией было предусмотрено, что локальный мониторинг за состоянием подземных вод в зоне возможного неблагоприятного влияния полигона будет осуществляться из шахтных колодцев.

На полигоне ТКО г. Бреста локальный мониторинг за состоянием подземных вод ведется из 4 наблюдательных скважин, полигон ТКО г. Барановичи – 10, полигон ТКО г. Иваново – 12.

Это связано с тем, что пункты наблюдений должны быть расположены по течению естественного потока подземных вод выше и ниже источника вредного воздействия. Также для оценки влияния полигона на состав подземных вод один из пунктов наблюдений должен располагаться выше по направлению грунтового потока с целью отбора проб воды, на которую не оказывает влияния фильтрат с полигона. Пробы воды из пунктов наблюдений, расположенных выше полигона по течению грунтовых вод, характеризуют их исходное состояние. Для отбора проб воды с целью выявления влияния на нее полигона, ниже по течению грунтовых вод закладывают не менее двух пунктов наблюдений: один на границе полигона, второй на расстоянии 50 – 100 м, согласно требованиям ТКП 17.06-01-

2007 «Правила размещения пунктов наблюдения за состоянием подземных вод для проведения локального мониторинга окружающей среды» [12–14].

При этом, оценка воздействия объектов на состояние подземных вод проведена в соответствии с требованием ЭкоНиП 17.01.06-001-2017, путем сравнения фактических концентраций загрязняющих веществ в наблюдательных и фоновых скважинах (показатель $C_{набл.}/C_{фон}$, мг/дм³) на всех объектах.

Превышения фоновых показателей по определенным химическим элементам представлены в таблице 2. Полученные данные свидетельствуют о неоднозначной динамике увеличения или снижения химических элементов в подземных водах вблизи полигонов. Динамика обнаружения в подземных водах анализируемого химического элемента видна в таблице 2 и рисунке 1

Таблица 2 – Анализ качества подземных вод по отдельным показателям, вблизи объектов захоронения, объединенных по группам исследования, мг/дм³

Группа полигонов/ химический показатель	Аммоний-ион	Нитрат-ион	Сульфат-ион	Хлорид-ион	Фосфат-ион	Железо общее	Марганец	Медь	Цинк	Хром	Минерализация воды	Нефтепродукты	Кобальт	Свинец	Кадмий	Ртуть	Фенолы
Группа 1	1,67	2,77	1,87	1,4	2,04	3,11	3,55	1,93	1,88	2,14	5,97	2,64	0,37	1,3	1,4	1,5	0,54
Группа 2	2,4	2,92	10,34	5,78	1,56	2,29	3,02	3,15	3,67	0,46	1,68	2,91	1,36	0,27	0,58	0,34	0,61

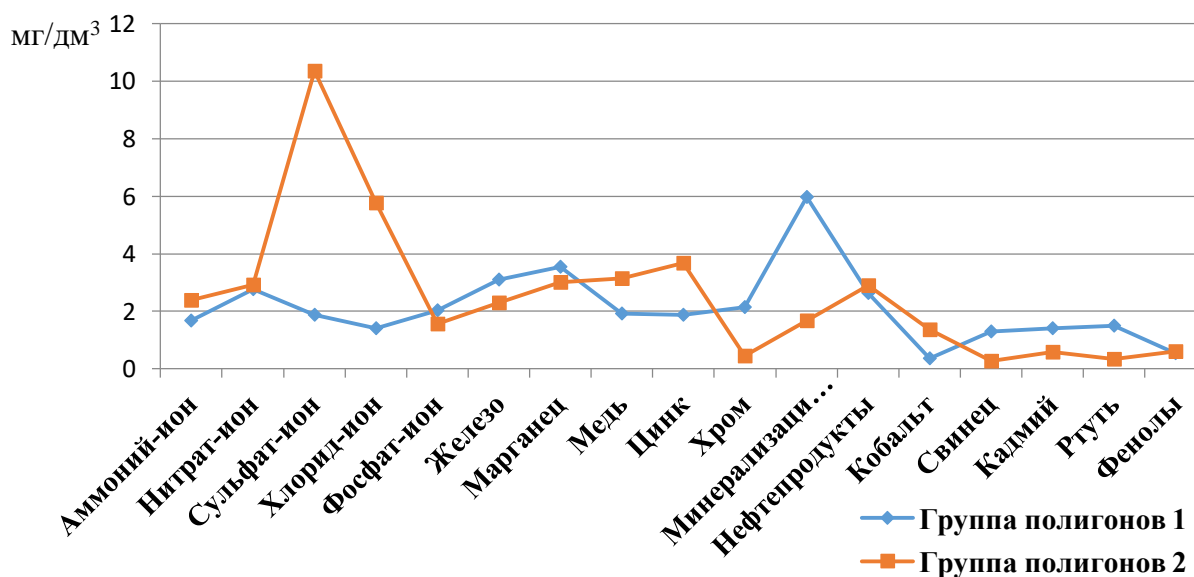


Рисунок 1 – Данные по каждому показателю в разрезе двух групп полигонов, полученные в результате локального мониторинга качества подземных вод по отношению к фоновым показателям, мг/дм³

Полигоны твердых коммунальных отходов, на которых отсутствует противифльтрационный экран (далее – полигоны группы 1): полигон г. Березы, полигон г. Белоозерска, полигон д. Медно Брестского района, полигон г. Ганцевичи, полигон д. Саки Жабинковского района, полигон г. Дрогичина, полигон г.п. Михновичи, полигон г. Косово, полигон д. Телеханы Ивацевичского района, полигон г. Высокое Каменецкий район, полигон г. Ляховичи, полигон г. Малориты, полигон г.п. Логишин Пинского района, полигон г. Давид-Городок Столинского района.

Полигоны твердых коммунальных отходов, на которых имеются противифльтрационный экран (далее – полигоны группы 2): полигон г. Барановичи, полигон г. Бреста, полигон д. Омелина Брестского района, полигон г. Жабинка, полигон г. Иваново, полигон г. Каменца, полигон г. Кобрин, полигон г. Лунинца, полигон г.п. Микашевичи, полигон г. Пинска, полигон г. Пружаны, полигон г.п. Ружаны Пружанского района, полигон г. Столина, полигон г.п. Ольшаны Столинского района.

В 2021 г., как и ранее, воздействие на подземные воды отмечалось в районе расположения большинства объектов захоронения отходов (Снабл/Сфон более 1,2 раза). В отдельных наблюдательных скважинах и по отдельным параметрам наблюдения большинства полигонов второй группы зафиксировано превышение фоновых показателей по таким ионам как: сульфат-ион в 10,34 раза от показателей фоновой скважины; хлорид-ион в 5,78 раза, нитрат-ион в 2,92 раза, нефтепродуктов в 2,91 раза, аммоний-ион в 2,4 раза, фенолы общие в 0,61 раза.

В подземных водах вблизи полигонов группы 1 зафиксировано превышение показателей от фоновых по: минерализация воды в 5,97 раза, марганец в 3,55 раза, железо в 3,11 раза, фосфор-ион в 2,04 раза. Полученные результаты показывают, что эксплуатируемые полигоны меняют качество подземных вод.

Следует отметить, что по мере удаленности скважин от полигона ТКО степень влияния на подземные воды гораздо меньше. Так, в наиболее отдаленных от объекта наблюдательных скважинах, расположенных в районе полигона ТКО г. Иваново наблюдается снижение фосфат-иона с 1,516 раза до 0,006 мг/дм³, сульфат-иона с 2,156 до 0,073 мг/дм³, нефтепродуктов с 1,1957 до 0,383 мг/дм³. Аналогично наблюдается и по другим полигонам ТКО.

Результаты локального мониторинга 2021 г. свидетельствуют о сохранении повышенного значения концентраций загрязняющих веществ на уровне предыдущих лет наблюдений, в большинстве наблюдательных скважин полигонов ТКО гг. Барановичи, Брест, Пинск.

Это в первую очередь связано с наибольшим количеством поступающих на данные объекты отходов 3-го класса опасности, которые чрезвычайно опасны и содержат большое количество вредных химических элементов (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание загрязняющих веществ в наблюдательных скважинах на полигонах ТКО за период 2019-2021 гг.

Наименование предприятия	Наименование и местонахождение, источник вредного воздействия на окружающую среду	Наименование показателей	Результаты мониторинга (концентрации в наблюдательных скважинах по сравнению с фоновой), мг/дм ³		
			2021 год	2020 год	2019 год
КУМОП ЖКХ «Барановичское городское жилищно-коммунальное хозяйство»	Фоновая и наблюдательные скважины (полигон г. Барановичи)	Аммоний-ион	в 0,389-1,972 раза	в 0,254-1,379 раза	в 1,023-1,93 раза
		Нитрат-ион	в 0,971-1,229 раза	в 1,014-1,211 раза	в 1,012 раза
		Сульфат-ион	в 1,038-1,442 раза	в 0,953-1,451 раза	в 1,063-1,25 раза
		Хлорид-ион	в 1-4,917 раза	в 0,634-2,827 раза	в 1,063-2,83 раза
		Фосфат-ион	в 1,133-2 раза	в 1-1,529 раза	в 1,13-1,609 раза
		Железо общее	в 0,922-1,759 раза	в 0,736-1,35 раза	в 1,027 раза
		Марганец	в 2-58,333 раза	в 1,7-47,1 раза	в 1,065-6,0 раза
		Медь	в 0,9-2,1 раза	в 0,818-2,091 раза	в 1,33-2,22 раза
		Цинк	в 0,583-1 раза	в 0,727-1,182 раза	в 1,1-1,3 раза
		Хром	в 1,122-1,939 раза	в 1,111-2 раза	в 1,27-1,91 раза
		Минерализация воды	в 1,172-8,594 раза	в 0,947-11,404 раза	в 1,58-3,63 раза
		Нефтепродукты	в 0,625-1,375 раза	в 0,5-2,5 раза	в 1,5-3,5 раза
		СПАВ	в 1,036-15 раза	в 1-14,444 раза	в 1,21-20,36раза
КПУП «Брестский мусороперерабатывающий завод»	Фоновая и наблюдательные скважины, (полигон г. Брест)	Аммоний-ион	в 0,859-1,578 раза	в 2,862-34,828 раза	в 1,12 раза
		Нитрат-ион	в 0,417-1,667 раза	в 1,316-2,895 раза	в 1,45 раза
		Сульфат-ион	больше фона	в 1,167-1,696 раза	больше фона
		Хлорид-ион	в 0,943-1,115 раза	-	
		Фосфат-ион	в 1,25-1,75	в 0,824-0,882 раза	в 0,9-1,1 раза
		Железо общее	в 2,222-4,8 раза	в 1,747-2,967 раза	в 1,1-3,82 раза
		Марганец	в 0,836-1,309 раза	в 0,943-3,195 раза	в 2,78 раза
		Медь	в 0,612-1,038 раза	в 0,509-1,073 раза	-
		Цинк	в 0,648-0,863 раза	в 0,48-0,74 раза	в 1,25 раза
		Минерализация воды	в 0,694-0,925 раза	в 1,086-1,371 раза	в 1,2раза
		Нефтепродукты	в 0,805-0,927 раза	в 0,304-0,623 раза	-
		СПАВ	в 0,717-1,587 раза	в 0,48-0,6 раза	-

КУПП «Жилищно-коммунальное хозяйство» г.Пинска	Фоновая и наблюдательные скважины, полигон ТКО (г.Пинск), н.п.Вулька Городищенская	Аммоний-ион	в 0,933-1,133 раза	в 1,3-1,89 раза	в 1,131 раза
		Нитрат-ион	в 0,9-1,15 раза	в 1,596-2 раза	-
		Сульфат-ион	в 0,885-1,007 раза	в 1,177-1,213 раза	в 1,01-1,30 раза
		Хлорид-ион	в 0,593-0,813 раза	в 1,051-1,069 раза	в 1,02-1,31 раза
		Фосфат-ион	в 1-1,2 раза	в 1,485-2,212 раза	в 1,75 раза
		Железо общее	в 0,92-1,156 раза	в 0,455-0,741 раза	-
		Марганец	в 0,417-3,75 раза	в 0,875-1,25 раза	-
		Медь	в 0,75-0,833 раза	в 1,125-1,25 раза	в 1,13-1,25 раза
		Никель	-	-	-
		Цинк	в 1-1,2 раза	в 0,833-1,167 раза	в 1,2 раза
		Минерализация воды	в 1,037-0,959 раза	в 1,139-1,283 раза	в 1,1 раза
		Нефтепродукты	в 0,48-1,6 раза	в 0,889-1 раза	в 1,25 раза
		СПАВ	в 1,095-1,333 раза	в 1,233-1,467 раза	в 2,0-2,2 раза

Полученные нами результаты подтверждают имеющиеся в литературе сведения [15] о том, что в процессе эксплуатации полигонов образуется целый комплекс процессов, которые негативно воздействуют на окружающую среду.

Выводы. Данные локального мониторинга подземных вод за последние годы показывают, что ухудшение качества подземных вод происходит в основном за счет повышенных значений веществ связанных с антропогенным происхождением, которые специфичны для каждого объекта захоронения (таблица 3).

Полученные результаты локального мониторинга подземных вод требуют детального изучения морфологического состава твердых коммунальных отходов, поступающих на захоронение на конкретный объект, и как следствие, состава фильтрата, образующегося в результате физических и химических процессов, протекающих на полигонах твердых коммунальных отходов.

Следует отметить, что необходимо усовершенствовать систему мониторинга в части количества наблюдательных скважин на полигонах гг.Барановичи, Брест, Пинск, так как результаты оценки состава подземных вод по отдельным показателям имеют тенденцию к ухудшению. Кроме того, требуется определить максимальное расстояние распространения загрязнения от тела полигона, чтобы в дальнейшем выработать механизм действия по их ликвидации и недопущению попадания в подземные воды.

Список цитированных источников

1. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь: результаты наблюдений, 2016 год [Электронный ресурс] / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды; Респ. центр по гидрометеорологии, контролю радиоактив. загрязнения и мониторингу окружающей среды Респ. Беларусь. – Минск : Белгидромет, 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

2. Лысухо, Н. А. Отходы производства и потребления, их влияние на природную среду : моногр. / Н. А. Лысухо, Д. М. Ерошина. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011.
3. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2017 год / Респ. центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды ; под общ. ред. Е. П. Богодяж. – Минск, 2018. – 450 с.
4. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2009 / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь ; под общ. ред. С. И. Кузьмина. – Минск : Бел НИЦ «Экология», 2010.
5. Новиков, Ю. В. Экология, окружающая среда и человек: учеб. пособие для вузов, сред. шк., колледжей / Ю. В. Новиков. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Гранд: ФАИР-ПРЕСС, 2002. – 560 с.
6. Об обращении с отходами: Закон Республики Беларусь, 20 июля 2007 г., № 271-З // Нац. правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 23.07.2007, 2/1368.
7. Безручко, А. В. Состояние качества подземных вод вблизи полигона твердых коммунальных отходов / А. В. Безручко // Природа, человек и экология : сб. тез. докл. VI Респ. науч.-практ. конф. молодых ученых, Брест, 28 марта 2019 г. / Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина ; редкол.: С. М. Ленивко, А. Н. Тарасюк, И. Д. Лукьянчик ; под общ. ред. С. Э. Карозы. – Брест, 2019. – С. 12–13.
8. Экологические аспекты захоронения твердых коммунальных отходов на полигонах: моногр. / М-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, РУП «Бел НИЦ «Экология»; Д. М. Ерошина [и др.]; под общ. ред. Д. М. Ерошиной. – Минск : Бел НИЦ «Экология», 2010. – 152 с.
9. Шимова, О. С. Экология и экономика природопользования: курс лекций: в 2 ч. / О. С. Шимова. – 2-е стер. изд. – Минск : Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь, 2005. – Ч. 2. – 183 с.
10. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2017 год / Респ. центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды; под общ. ред. Е. П. Богодяж. – Минск, 2018.
11. Фильтрат полигонов ТБО [Электронный ресурс] // ТОРОС: Инжиниринг в сфере проектирования и строительства очистных сооружений. – Режим доступа : <http://www.torosltd.ru/stati/filtrat-poligonov-tbo/>. – Дата доступа : 01.07.2022.
12. Предотвращение загрязнения окружающей среды посредством строительства полигона промышленных отходов предприятия ОАО «Себряковцемент» / Е. П. Ряскова [и др.] // Современные проблемы географии, экологии и природопользования : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Волгоград, 25–26 апр. 2012 г. / Волгоградский гос. ун-т ; редкол. : С. Н. Кириллов (отв. ред.) и др. – Волгоград, 2012. – С. 651–654.
13. Объекты захоронения твердых коммунальных отходов. Правила проектирования и эксплуатации = Аб'екты захавання цвердых камунальных

адыходаў. Правілы праектавання і эксплуатавання [Электронны ресурс] : ТКП 17.11-02-2009 (02120/02030). – Введ. 01.07.2009 // Нац. фонд техн. норматив. правовых актов / Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь. – Режим доступа : <http://tnpa.by/#!/DocumentCard/228135/325662>. – Дата доступа : 01.07.2022.

14. Об утверждении Инструкции о порядке проведения мониторинга подземных вод [Электронный ресурс] : Постановление М-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь, 14 июня 2006 г., № 39 : в ред. от 29 апр. 2008 г. № 42 // КонсультантПлюс. Беларусь /ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2016.
15. Об утверждении перечня коммунальных отходов: постановление М-ва жилищ.-коммун. хоз-ва Респ. Беларусь, 30 нояб. 2001 г., № 21 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2001. – № 119. – 8/7531.

УДК 551.55 (476-14)

ИЗМЕНЕНИЯ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНО-БЕЛОРУССКОЙ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

А. А. Волчек¹, А. В. Гречаник²

¹УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, volchak@tyt.by

²УО «Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина», Брест, Беларусь, HrachanikA@tut.by

Аннотация

В работе представлена современная характеристика скорости ветра на территории Восточно-Белорусской провинции. Проведен сравнительный анализ изменений ветрового режима в период современного потепления климата. Рассмотрены годовой ход скорости ветра и распределения ветра по градациям скоростей.

Ключевые слова: ветер, скорость, изменения, градация, Восточно-Белорусская провинция.

CHANGES IN THE SPEED REGIME OF THE EASTERN-BELARUSIAN PHYSICAL-GEOGRAPHICAL PROVINCE

A. A. Volchak, A. V. Hrachanik

Abstract

The paper presents a modern characteristic of wind speed in the territory of the East Belarusian province. A comparative analysis of changes in the wind regime during the current climate warming has been carried out. The annual course of the wind speed and the distribution of the wind according to the speed gradations are considered.

Keywords: wind, speed, changes, gradation, East-Belarusian province.

Введение. Происходящие изменения климата вызывают интерес у широкого круга специалистов и общественности, так как оказывают влияние на многие сферы хозяйственной деятельности человека: от сельского хозяйства до энергетики. В национальном докладе «Уязвимость и адаптация к изменению климата

Беларуси» отмечается увеличение количества опасных гидрометеорологических явлений, среди которых наибольший ущерб экономике наносят сильные ветры и шквалы. В связи с этим изучение многолетних изменений ветрового режима имеет важное теоретическое и практическое значение. Скорость приземного ветра в Беларуси имеет тенденцию к уменьшению, это согласуется с уменьшением скорости приземного ветра на всех континентах земного шара, исключая высокие широты обоих полушарий [1].

Целью данной работы является оценка современных изменений скорости ветра на территории Восточно-Белорусской физико-географической провинции путем анализа временных рядов скорости ветра, осредненных за год, за период инструментальных наблюдений.

Восточно-Белорусская провинция расположена в умеренных широтах северного полушария на востоке Республики Беларусь. Основным климатообразующим фактором является влияние Атлантического океана, которое ослабевает при движении к востоку, что сказывается на наличии континентальных черт климата Гомельской области.

Материалы и методы. Информационную базу для проведения исследования составили данные многолетних инструментальных наблюдений за скоростью ветра на метеорологических станциях Горки, Костюковичи, Могилев, Славгород и Орша Могилевского и Витебского областных центров по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды за период 1945–2015 гг. Измерения параметров ветрового потока на всех изученных станциях проводятся по стандартной методике. В исследование использованы два сравнительных интервала: 1951–1985 и 1986–2020 годы. Это обусловлено тем, что с 1986 года наблюдается современный этап потепления климата, что отражается на всех метеорологических показателях [2].

Объектом изучения является среднегодовая скорость ветра на территории Восточно-Белорусской провинции. Территория провинции неоднородна в физико-географическом отношении: большая часть расположена на Оршано-Могилевской равнине, а север – на Оршанской и Городетско-Мстиславской возвышенности. Преобладают равнинные и возвышенные формы рельефа, пересеченные долинами рек в меридиональном направлении. Основным фактором, формирующим ветровой режим провинции является циркуляция атмосферы над континентом Евразии и над Атлантикой, которая определяется наличием стационарных барических центров: исландского минимума в течение всего года, сибирского максимума зимой и азорского – летом [3, 4].

При статистическом анализе временных рядов использованы следующие методики: для выявления тенденций изменений использовались хронологические графики колебаний и разностные интегральные кривые; для оценки различий в статистических параметрах использовался критерий Стьюдента и критерий Фишера.

Полученное значение t критерия Стьюдента и F -критерия Фишера сравнивалось с их критическими значениями при заданном уровне значимости $\alpha = 5\%$. Если $t > t_{\alpha}$, принимается гипотеза статистического различия двух

выборочных средних, а при $F > F_{\alpha}$ принимается гипотеза статистического различия в колебаниях рассматриваемых рядов [5].

Результаты и обсуждение. Пространственно-корреляционная функция поля скорости ветра является однородной для Восточно-Белорусской провинции [6].

При анализе хронологического хода среднегодовой скорости ветра по метеостанциям Восточно-Белорусской провинции выявлена устойчивая тенденция снижения скорости ветра (рисунок 1, таблица 1). Одной из причин уменьшения скорости ветра является рост интенсивности Северо-Атлантического колебания и увеличение повторяемости глубоких барических образований, проходящих через территорию Европы [7].

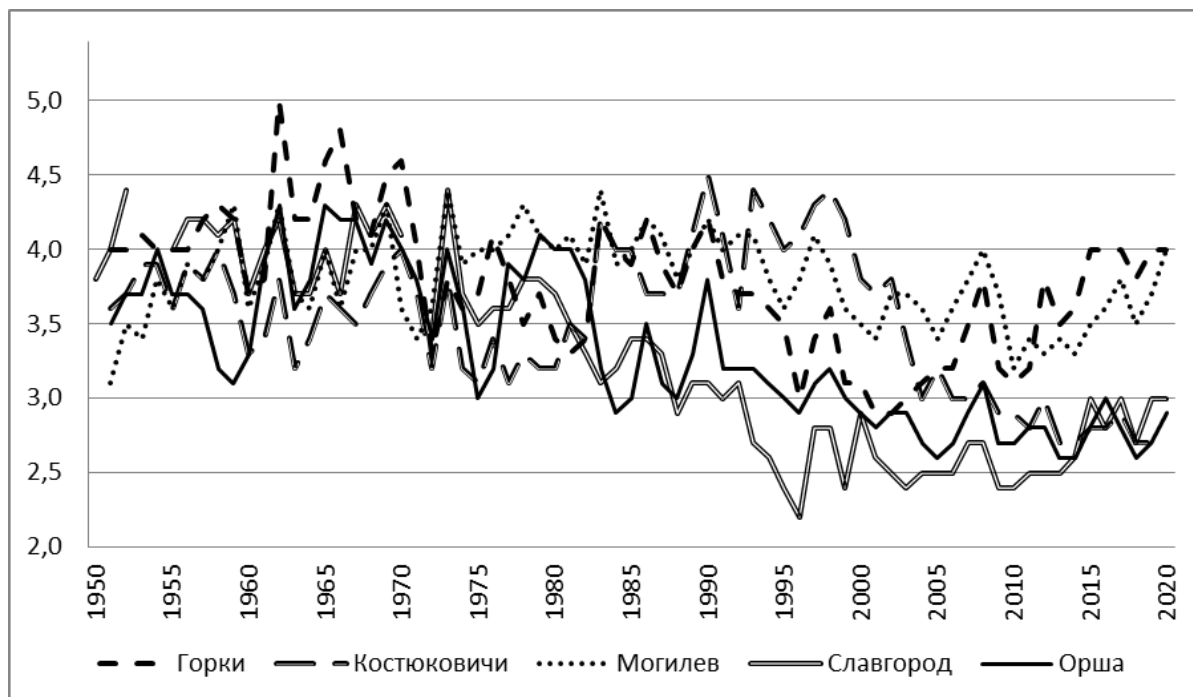


Рисунок 1– Хронологический ход среднегодовой скорости ветра по ключевым метеорологическим станциям Гомельской области (м/с)

Таблица 1 – Средние месячные скорости ветра на высоте флюгера (м/с) за 1986–2020 гг.

Метеостанция	Месяцы												Среднее за год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Горки	4,4	4,2	4,0	3,6	3,2	2,9	2,7	2,7	3,0	3,5	4,0	4,3	3,6
Костюковичи	3,9	3,8	3,9	3,7	3,4	3,1	2,8	2,8	3,0	3,3	3,6	3,8	3,4
Могилев	4,4	4,2	4,1	3,8	3,5	3,2	3,0	3,0	3,3	3,8	4,1	4,4	3,7
Славгород	3,3	3,1	3,1	2,8	2,6	2,4	2,2	2,2	2,5	2,7	2,9	3,1	2,7
Орша	3,4	3,2	3,2	3,0	2,7	2,6	2,3	2,4	2,6	3,0	3,3	3,5	2,9

Среднее значение скорости ветра на территории Восточно-Белорусской провинции за период 1986–2020 годы составляет $V_{\text{ср.}} = 3,5$ м/с. Максимальное среднегодовое значение скорости ветра наблюдалось на метеорологической станции Костюковичи в 1990 г. и составило $V_{\text{max}} = 4,5$ м/с; минимальные среднегодовые значения наблюдались на метеорологической станции Славгород

в 1996 г. и составило $V_{\min} = 2,2$ м/с, размах колебаний составил $\Delta V = 2,3$ м/с (таблица 2).

Таблица 2 – Максимальные и минимальные значения среднегодовой скорости ветра (м/с) за период 1986–2020 гг.

Метеорологическая станция	Максимальное значение скорости ветра (V_{\max})	Минимальное значение скорости ветра (V_{\min})	Размах колебаний составил (ΔV)
Горки	4,2	2,9	1,3
Костюковичи	4,5	2,7	1,8
Могилев	4,2	3,2	1,0
Славгород	3,4	2,2	1,2
Орша	3,8	2,6	1,2

Анализ среднегодовых скоростей ветра свидетельствует о наличии в многолетнем ходе этих значений статистически значимых трендов. Для всех исследуемых станций выделено два периода наблюдений: с 1986 по 2020 гг. и более ранние наблюдения 1951–1985 гг. Для выделенных интервалов и периода наблюдений в целом построены линейные тренды и определены основные статистические характеристики (среднегодовая скорость (V_{cp}), коэффициенты вариации (C_v), асимметрии (C_s), автокорреляции ($r(1)$), корреляции линейных трендов (r) и средний градиент скорости ветра (ΔV)) (таблица 3).

Таблица 3 – Основные статистические параметры среднегодовых скоростей ветра за различные периоды осреднения

Метеостанция	Период осреднения, годы	Коэффициенты					
		V_{cp} , м/с	C_v	C_s	$r(1)$	r	$\Delta V \cdot \text{м}/10 \text{ лет}$
Горки	1951–2020	3,78	0,05	0,17	0,72	0,52	-0,12
	1951–1985	4,01	0,04	0,31	0,50	0,40	-0,16
	1986–2020	3,55	0,04	-0,12	0,75	0	-0,003
Костюковичи	1951–2020	3,52	0,07	-0,08	0,82	0,43	-0,10
	1951–1985	3,60	0,03	-0,02	0,46	0,20	-0,06
	1986–2020	3,45	0,11	0,24	0,91	0,85	-0,51
Могилев	1951–2020	3,81	0,02	-0,15	0,50	0,24	-0,04
	1951–1985	3,89	0,02	-0,37	0,25	0,50	0,15
	1986–2020	3,73	0,02	0,04	0,68	0,59	-0,16
Славгород	1951–2020	3,26	0,13	0,08	0,90	0,87	-0,28
	1951–1985	3,84	0,03	-0,24	0,54	0,70	-0,25
	1986–2020	2,73	0,03	0,43	0,63	0,29	-0,08
Орша	1951–2020	3,32	0,08	0,25	0,83	0,77	-0,19
	1951–1985	3,70	0,04	-0,46	0,58	0,13	-0,05
	1986–2020	2,95	0,02	1,09	0,66	0,73	-0,19

Примечание. Выделены статистически значимые коэффициенты корреляции.

Рассмотрим устойчивость выборочных статистик (средних, коэффициентов вариации) при изменении интервалов осреднения применительно к среднегодовым скоростям ветра. Для оценки различий в скорости ветра использованы статистические критерии Стьюдента (оценка выборочных

средних) и Фишера (оценка выборочных дисперсий). В таблице 4 приведены результаты сравнительного анализа основных выборочных статистик на однородность для рассматриваемых интервалов осреднения.

Таблица 4 – Эмпирические значения t -критериев Стьюдента и F -критериев Фишера для различных интервалов осреднения

Горки	1951–1985	1986–2020	Костюковичи	1951–1985	1986–2020
1951–2020	$t=2,61,$ $F=0,77$	$t=2,64,$ $F=1,34$	1951–2020	$t=0,97,$ $F=0,39$	$t=0,64,$ $F=0,63$
1951–1985		$t=4,78,$ $F=1,04$	1951–1985		$t=1,31,$ $F=0,25$

Могилев	1951–1985	1986–2020	Славгород	1951–1985	1986–2020
1951–2020	$t=1,28,$ $F=1,03$	$t=1,37,$ $F=1,18$	1951–2020	$t=5,74,$ $F=0,31$	$t=5,72,$ $F=4,94$
1951–1985		$t=2,31,$ $F=1,21$	1951–1985		$t=13,88,$ $F=1,54$

Орша	1951–1985	1986–2020
1951–2020	$t=4,20,$ $F=0,61$	$t=5,01,$ $F=3,60$
1951–1985		$t=9,40,$ $F=2,18$

Примечание: Выделены эмпирические критерии выше критических.

В результате анализа выборочных средних среднегодовых скоростей ветра за рассматриваемые интервалы статистически значимые различия при уровне значимости $\alpha=5\%$ были установлены для всех периодов по метеостанциям Горки, Славгород и Орша и для метеостанции Могилев для периодов 1951–1985 и 1986–2020. Для метеостанции Костюковичи статистических значимых различий средних среднегодовых скоростей ветра не выявлено.

Статистически значимые различия коэффициентов вариации выявлены для всех периодов метеорологической станции Орша, для метеостанции Горки для периодов 1951–2020 гг. и 1951–1985 гг., для метеостанции Костюковичи для периодов 1951–2020 гг. и 1986–2020 гг., для метеостанции Славгород для периодов 1951–2020 гг. и 1986–2020 гг. Для метеорологической станции Могилев статистически значимых различий коэффициентов вариации не выявлено.

Внутригодовой ход среднемесячных скоростей ветра на территории Восточно-Белорусской физико-географической провинции не претерпел изменений: наименьшие скорости характерны для июля – августа, наибольшие скорости характерны с ноября по февраль (рисунок 2). Такой ход скорости ветра связан с циклонической деятельностью, которая усиливается в осенне-зимний период, а в конце лета глубина и повторяемость циклонических образований уменьшается [8].

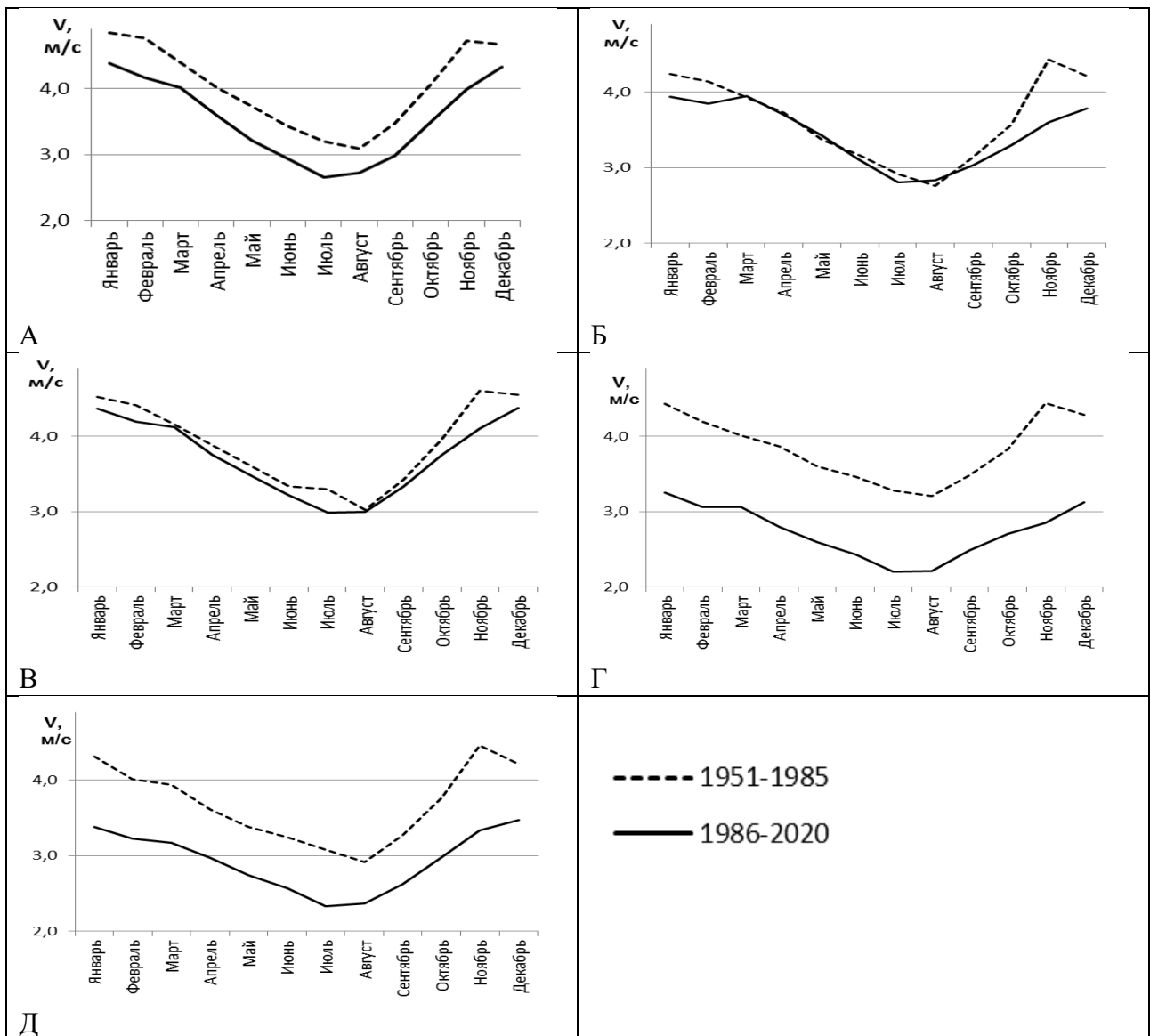
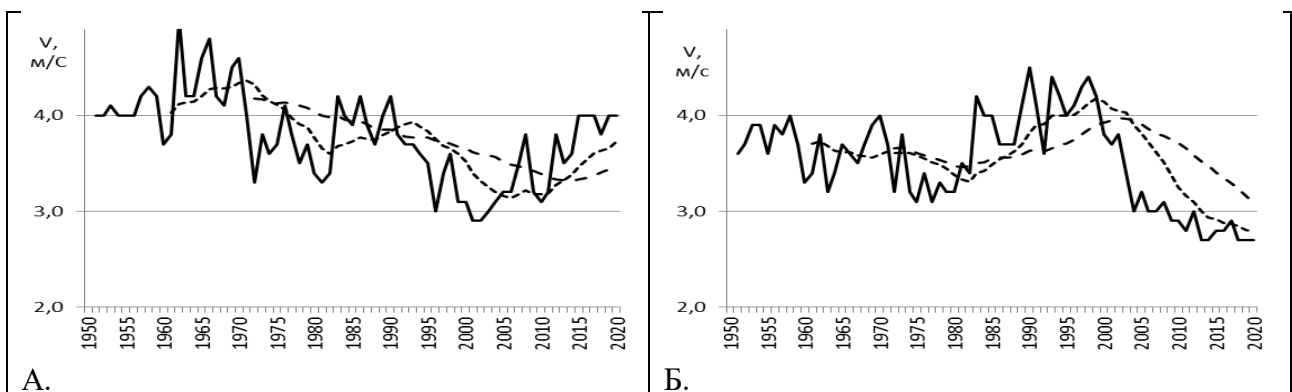


Рисунок 2 – Среднемесячные скорости ветра за различные периоды осреднения (Метеостанции: А – Горки, Б – Костюковичи, В – Могилев, Г – Славгород, Д – Орша)

Для анализа изменения скорости ветра на территории Восточно-Белорусской провинции использован прием скользящих средних с периодами осреднения 11 и 22 года (один и два солнечных цикла) (рисунок 3). Как представлено на графиках для всех исследуемых станций ход скользящих средних с периодами осреднения 11 и 22 года практически совпадает с годовым ходом скорости ветра, сглаживая амплитуду колебаний.



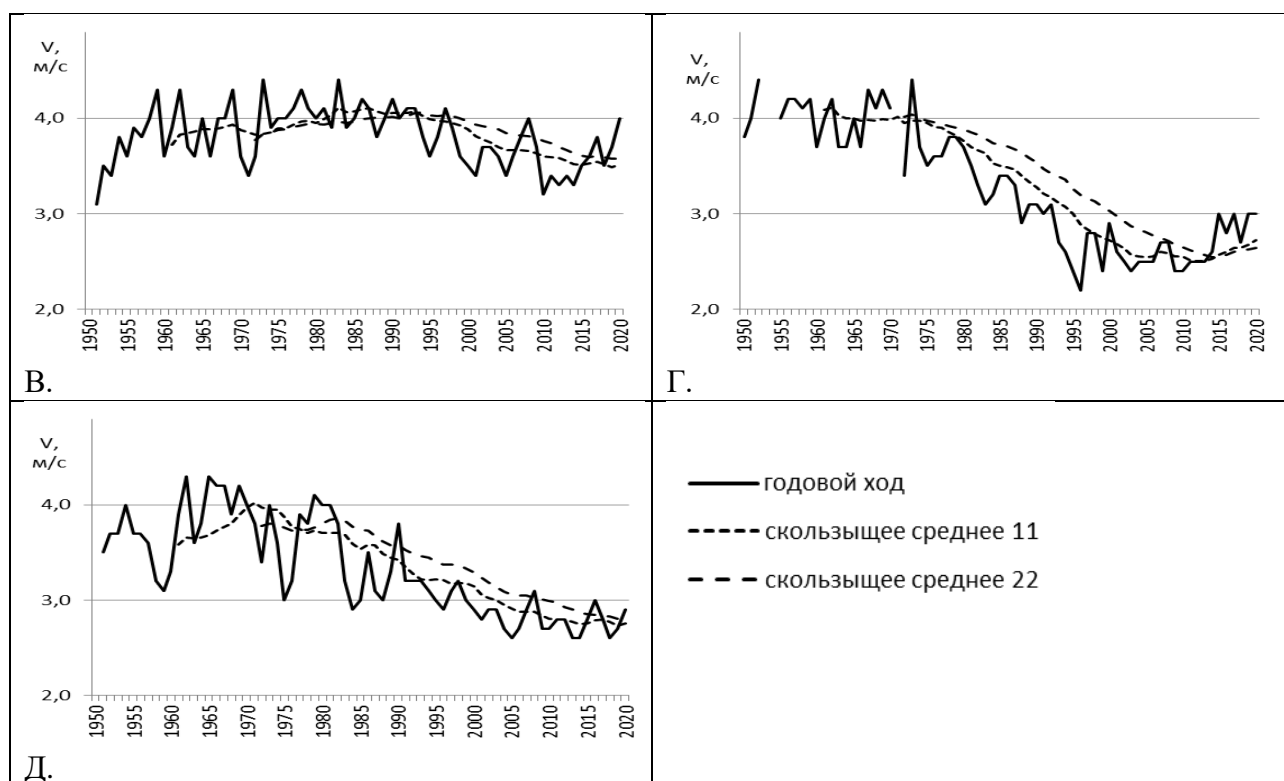


Рисунок 3 – Хронологический ход среднегодовых скоростей ветра и скользящие средние с различными периодами осреднения

(Метеостанции: А – Горки, Б – Костюковичи, В – Могилев, Г – Славгород, Д – Орша)

В ходе работы проанализирована повторяемость различных значений скорости ветра (таблица 5). Для Восточно-Белорусской провинции наиболее характерны слабые ветры (2–5 м/с) их доля составляет 63,98 %. Штилевые условия и тихие ветры характерны в 21,04 % случаев. Доля умеренных ветров (6–9 м/с) составляет 14,04 %, что выше чем средние показатели для Беларуси. Доля сильных ветров (более 10 м/с) составляет 0,94 %, реже всего они фиксируются на метеорологической станции Орша.

Таблица 5 – Распределение скорости ветра по градациям скоростей (%) за период 1986–2020 гг.

Метеостанции	Градация (м/с)									
	0–1	2–3	4–5	6–7	8–9	10–11	12–13	14–15	16–17	18–20
Горки	18,42	37,39	25,25	12,88	4,75	1,11	0,18	0,03		
Костюковичи	17,50	40,76	25,22	10,99	4,11	1,11	0,23	0,05	0	0
Могилев	14,54	34,53	31,23	14,11	4,37	1,00	0,19	0,03	0	0
Славгород	29,52	41,68	19,33	6,69	2,25	0,44	0,08	0,01	0	0
Орша	25,20	40,07	24,45	8,14	1,89	0,24	0,02	0	0	0

Заключение. В работе рассчитаны и проанализированы основные характеристики ветровых условий территории Восточно-Белорусской физико-географической провинции. Проведено сравнение характеристик скорости ветра за два периода 1951–1985 и 1986–2020 гг. Выявлена устойчивая тенденция снижения среднегодовых скоростей ветра на всей исследуемой территории. Годовой ход скорости ветра не претерпел существенных изменений, отмечено преобладание на территории провинции слабых ветров.

Список цитированных источников

1. Кижнер, Л. И. Изменение режима ветра в Томске в начале XXI века / Л. И. Кижнер, Н. Ю. Серая // Труды главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. – Спб., 2015. – Т. 576. – С. 102–113.
2. Изменения климата: последствия, смягчение, адаптация : учеб.-метод. Комплекс / М. Ю. Бобрик [и др.]. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2015. – 424 с.
3. Справочник по климату СССР : Белорусская ССР : Метеорологические данные за отдельные годы. – Обнинск : ВНИИГМИ – МИД, 1975. – Ч. III. – Т. I. : Направление ветра. – 1975. – 593 с.
4. Справочник по климату СССР; отв. Ред. Н. А. Малишевская – Ленинград : Гидрометеиздат, 1966. – Ч. III. – вып. 7. – 1966. – 156 с.
5. Бурлибаев, М. Ж. Колебания уровня воды озера Балкаш в условиях изменяющегося климата / М. Ж. Бурлибаев, А. А. Волчек, Д. М. Бурлибаева // Гидрометеорология и экология. – 2017. – № 2. – С. 46–65.
6. Волчек, А. А. Пространственно-временные колебания и оценка однородности временных рядов среднегодовой скорости ветра для территории Беларуси / А. А. Волчек, А. В. Гречаник // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – № 1, 2019 – БрГУ имени А. С. Пушкина, 2018. – С. 76–84.
7. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
8. Климат Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Институт геологических наук АН Беларуси, 1996. – 234 с.

УДК 631.423.3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОТОКСИКАНТОВ НА СКЛОНОВЫХ АГРОЛАНДШАФТАХ

А. А. Волчек¹, Н. Н. Костюченко², М. М. Дашкевич²

¹УО «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Беларусь, volchak@tut.by

²Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь, kost-n@rambler.ru

Аннотация

В статье анализируется химический состав дерново-подзолистой связнопесчаной почвы на склоновых агроландшафтах крутизной 0,10° и 0,22°. Установлено, что агроландшафт с уклоном местности 0,22° незначительно отличается по количеству экотоксикантов между верхней и нижней частями склона, за исключением азота нитратного в весенний период. При уклоне 0,10° содержание химических элементов в почве ниже по склону преобладало: азота аммонийного в 1,6–2,5 раз, азота нитратного в 1,6–6,9 раз, калия в 1,5–3,9 раз, тяжелых металлов в среднем 1,2–8,2 раза, по сравнению с верхней частью склона, но не превышало установленных норм.

Ключевые слова: агроландшафт, дерново-подзолистая связнопесчаная почва, азот аммонийный, азот нитратный, фосфор, калий, тяжелые металлы.

DISTRIBUTION OF ECOTOXICANTS ON SLOPE AGRICULTURAL LANDSCAPES

A. A. Volchek, N. N. Kostiuchenko, M. M. Dashkevich

Abstract

The article analyzes the chemical composition of soddy-podzolic coherent-sandy soil on sloping agricultural landscapes with a steepness of 0,10° and 0,22°. It has been established that the agricultural landscapes with a terrain slope of 0,22° differs slightly in the amount of ecotoxics between the upper and lower parts of the slope, with the exception of nitrate nitrogen in the spring. With a slope of 0,10°, the content of chemical elements in the soil below the slope prevailed: ammonium nitrogen by 1,6–2,5 times, nitrate nitrogen by 1,6–6,9 times, potassium by 1,5–3,9 times, heavy metals by on average of 1,2–8,2 times compared to the upper part of the slope, but did not exceed the established norms.

Keywords: agricultural landscapes, soddy-podzolic coherent-sandy soil, ammonium nitrogen, nitrate nitrogen, phosphorus, potassium, heavy metals.

Введение. Для формирования экологически устойчивого сельскохозяйственного землепользования необходимо владеть достаточной и объективной информацией об изменениях, происходящих в почвах. В агроландшафтах, помимо биологического круговорота веществ, происходит процесс техногенного поступления элементов, связанный с внесением удобрений, пестицидов, гербицидов, что может привести к загрязнению и необратимым процессам химической деградации земель, оказывая негативное воздействие на урожайность и качество сельскохозяйственной продукции.

Химические вещества, которые при поступлении в окружающую среду в дозах, превышающих предельно допустимые концентрации, вызывают нарушения нормальной деятельности экологических систем, называют экотоксикантами. Среди элементов, постоянно вносимых в почву агроландшафтов, преобладают азот, фосфор, калий. Они оказывают первостепенное значение на формирование урожая сельскохозяйственных культур, однако в высоких концентрациях снижают качество урожая. У растений избыток азота нитратного нарушает транспортировку питательных веществ, в результате чего, затягивается рост побегов, отодвигается начало цветения. Высокое содержание фосфора ускоряет развитие растений, а также может блокировать поступление в них калия, железа, цинка, меди и других важнейших элементов питания и, как следствие этого, вызвать болезни и приостановку роста. Избыток калия приводит к нарушению водно-солевого обмена, в результате чего наступает увядание растения, плоды характеризуются пониженным содержанием сахара и кислот.

Имеются сведения о том, что минеральные и органические удобрения являются источником поступления тяжелых металлов (ТМ) в агроэкосистему [1–4]. Потенциально опасными с точки зрения накопления кадмия являются фосфорные и калийные удобрения, свинца – фосфорные, цинка – органические,

меди – органические и фосфорные [4]. Попадая в почву и растения, они накапливаются и включаются в метаболические циклы живых организмов, образуя высокотоксичные канцерогенные соединения [5]. Загрязнение почвы ТМ влияет на трансформацию азотсодержащих веществ, снижает содержание в ней минеральных веществ и т.д. Наибольшее давление на эти процессы оказывает кадмий, несколько меньше медь, затем цинк и свинец. На низкоплодородных почвах особое влияние на содержание в почве минерального азота оказывает медь и значительно меньше – кадмий и свинец [6].

Многие авторы, изучающие распределение химических элементов по профилю почвы, указывают на равномерность их размещения с определенной аккумуляцией в верхнем слое [6, 7]. На дальнейшее перераспределение экотоксикантов в результате их миграции большое влияние оказывают рельеф территории, а именно, наличие наклонных поверхностей, которые способствуют гравитационному перемещению водных и твердых масс от более высоких уровней к более низким [8].

В Белорусском Полесье преобладают склоны крутизной менее 3°, процентное соотношение которых в данном регионе составляет 95,1% по сравнению с другими почвенно-экологическими провинциями [9]. Данная особенность рельефа приводит к перераспределению питательных веществ по площади, что оказывает влияние на урожай и качество растениеводческой продукции [10].

Изучением внутрипочвенной миграции основных элементов питания занимались многие ученые [11–14]. Исследования показали, что количество нитратного азота снижается вниз по профилю с незначительной его аккумуляцией в материнской породе. В тоже время динамика изменения подвижного фосфора менее выражена и не отличается четкой закономерностью [11]. В работе [12] авторы утверждают, что фосфор обычно фиксируется в пахотном слое почвы, а на супесчаных почвах, подстилаемых песками, при высоких дозах внесения органики, возможна миграция фосфора в более глубокие почвенные горизонты, что обусловлено большей миграционной способностью органических соединений данного элемента по сравнению с минеральными. Ввиду высокой подвижности калия в дерново-подзолистых почвах возможна его существенная миграция на склоновых территориях не только вниз по профилю почв, но и с поверхностными и внутрипочвенными стоками [13]. Авторы отмечают, что на легких почвах с низким содержанием гумуса ТМ мигрируют в нижележащие слои, а затем в грунтовые воды, часть экотоксикантов поступает в растения. Вопросами изучения влияния микропонижений на качество грунтовых вод при использовании органических удобрений занимались П. Ф. Тиво, В. И. Желязко и др [10, 15–17]. Распределение экотоксикантов по почвенному профилю в зоне влияния животноводческих комплексов исследовали Т. М. Серая, Е. Н. Богатырева, Г. Е. Мерзлая и др. [18–21].

Однако в Полесском регионе, на песчаных почвах, отличающихся низкой влагоемкостью, небольшим содержанием элементов питания, что требует повышенных доз внесения органических и минеральных удобрений, данных по распределению химических элементов на склоновых агроландшафтах недостаточно. Кроме того, вследствие преобладания в ландшафтной структуре Полесья низинных территорий, сложенных легко проницаемыми песчаными отложениями и близким к поверхности залеганием грунтовых вод, существует повышенная опасность их загрязнения [22]. Это требует мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и разработки технологических приемов, минимизирующих отрицательные последствия привнесения токсикантов [23].

Исходя из вышесказанного целью нашей работы являлось исследование распределения наиболее приоритетных экотоксикантов на легких почвах склоновых агроландшафтов Полесского региона.

Объекты и методы. Исследования проводились в 2021 г. на агроландшафтах ОАО «Племзавод Мухавец» Брестского района в окрестностях деревни Вулька Заставская. Почвы сельхозугодий – дерново-подзолистые связнопесчаные, типичные для юго-запада Полесского региона. В течение года отбор проб проводился 3 раза: весной, летом, осенью с пахотного (0–25 см) и подпахотного (25–40 см) горизонтов.

Склоновые агроландшафты представлены участками 1 и 2. Участок 1 имеет уклон местности 0,22°, участок 2 – 0,10°. Уклон местности рассчитан с помощью топографической карты масштаба 1:50000. Карты уточнены спутниковым снимком. Отбор проб почв на каждом участке проводили в пяти точках в верхней и нижней частях склона.

Подстилочный навоз в агроландшафтах вносился в дозе 60 кг/га: на участке 1 – 1 год назад, на участке 2 – 2 года назад. На 1-м участке высеяна озимая рожь, на 2-м – кукуруза. Минеральные удобрения вносились в дозах, стандартных для возделывания вышеуказанных сельскохозяйственных культур.

Определение концентраций азота, фосфора, калия в почвенных образцах осуществляли фотометрическим методом. Содержание обменного аммония и нитратов устанавливали путем их экстракции из воздушно-сухой почвы раствором хлористого калия концентрации 1 моль/дм³ с последующим добавлением к почвенной вытяжке салицилата и гипохлорита натрия для определения количества аммония (ГОСТ 26489-85), гидразина – для определения концентрации нитратов (ГОСТ 26488-85). Подвижные формы фосфора и калия устанавливали методом Кирсанова в модификации ЦИНАО. Для экстракции вышеуказанных соединений использовали раствор соляной кислоты концентрации 0,2 моль/дм³. Фосфор определяли в виде синего фосфорно-молибденового комплекса на спектрофотометре СФ-56, калия на пламенном фотометре М-1382 (ГОСТ 26207–91).

На содержание тяжелых металлов пробы анализировали методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на приборе iCAP 7200 по ГОСТ ISO 22036-2014. В качестве экстрагирующего раствора использовали смесь азотной и соляной кислот в соотношении 1:3 (ISO 11466:1995).

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований установлено, что на склоновых агроландшафтах наибольшая концентрация большинства химических элементов зафиксирована в пахотном слое почвы, что согласуется с утверждением других авторов.

Среди исследуемых соединений азот аммонийный обнаружен только в весенний период. Количество данного соединения в дерново-подзолистой почве выше по склону на участках 1 и 2 незначительно отличалось и составило соответственно 6,12 и 5,04 мг/кг в пахотном слое и 5,23 и 4,35 мг/кг в подпахотном слое. Содержание азота аммонийного в нижней части склона преобладало по сравнению с верхней в 1,2–1,6 раз в пахотном и в 1,1–2,5 раз в подпахотном слое (таблица 1).

Таблица 1 – Содержание азота, подвижных соединений фосфора и калия в дерново-подзолистой связнопесчаной почве склоновых агроландшафтов

Время отбора	Глубина отбора образца, см	Азот аммонийный, мг/кг	Азот нитратный, мг/кг	Фосфор, мг/кг	Калий, мг/кг
Участок 1 – уклон местности 0,22° (посевы озимой ржи 1-й г. п/д навоза)					
Выше по склону					
Весна	0–25	6,12	2,07	376,9	170,00
	25–40	5,23	2,00	136,7	106,50
Лето	0–25	нпо	5,93	300,1	115,00
	25–40	нпо	2,94	98,4	98,50
Осень	0–25	нпо	нпо	264,3	94,00
	25–40	нпо	нпо	41,9	83,0
Ниже по склону					
Весна	0–25	7,27	3,80	387,4	172,50
	25–40	5,49	3,35	226,6	134,50
Лето	0–25	нпо	7,24	282,5	126,00
	25–40	нпо	3,17	134,4	119,00
Осень	0–25	нпо	нпо	200,9	101,00
	25–40	нпо	нпо	49,9	65,00
Участок 2 – уклоном местности 0,10° (посевы кукурузы 2-й г. п/д навоза)					
Выше по склону					
Весна	0–25	5,04	7,18	460,96	118,5
	25–40	4,35	5,90	144,7	99,5
Лето	0–25	нпо	13,45	361,5	86,00
	25–40	нпо	2,80	174,6	69,50
Осень	0–25	нпо	2,20	363,3	85,00
	25–40	нпо	нпо	101,3	63,50
Ниже по склону					
Весна	0–25	7,82	13,14	188,2	278,5
	25–40	10,78	9,37	141,9	285,5
Лето	0–25	нпо	24,3	208,9	242,5
	25–40	нпо	19,4	176,4	270,5
Осень	0–25	нпо	13,51	89,2	124,0
	25–40	нпо	17,57	82,3	177,5

Примечание – нпо – ниже предела обнаружения прибора

Исследования показали, что на втором участке содержание азота нитратного в весенне-осенний период в два и более раз выше по сравнению с первым (таблица 1). Максимальное количество данного соединения отмечено в летний период в пахотном слое почвы. Выше по склону численное значение азота нитратного составило 5,93 мг/кг (участок 1) и 13,45 мг/кг (участок 2), что соответственно в 1,2–1,8 раз меньше, чем в нижней части склона. Несмотря на увеличение концентрации данного соединения в почве, расположенной ниже по склону, полученные нами данные не достигали наименьшего порогового значения, соответствующего низкому уровню загрязнения [24]. В подпахотном слое содержание нитратов за исследуемый период не превышало 3,35 мг/кг на 1-м участке и 19,4 мг/кг – на 2-м участке. К осени количество данного соединения в почве снизилось.

Наибольшие различия по концентрации соединений азота, между верхней и нижней частями склона, в течение исследований отмечены на агроландшафте крутизной – 0,10° (участок 2). На данном участке ниже по склону содержание азота аммонийного по профилю почвы в 1,6–2,5 раз, азота нитратного – в 1,6–6,9 раз больше по сравнению с верхней частью. На участке с уклоном 0,22° весной разница по количеству азота нитратного на различных частях склона составила 1,8 раз, а в дальнейшем не обнаружены значительные отличия по содержанию данного соединения в почве.

Максимальная концентрация подвижного фосфора в почвах агроландшафтов зафиксирована в весенний период (таблица 1). Количество данного элемента в верхних частях склона составило 376,9 мг/кг почвы (участок 1) и 461,0 мг/кг (участок 2) мг/кг и оценивалось соответственно, как высокое и очень высокое, в нижних – высокое – 387,4 мг/кг (участок 1) и повышенное – 188,2 мг/кг (участок 2) [25]. Следует отметить, что в нижней части склона обоих участков увеличение содержания фосфора не наблюдалось, в отличие от азотсодержащих соединений, вследствие его малой подвижности. Отмечено лишь уменьшение количества фосфора в почве с мая по сентябрь, что вероятно связано с ростом и развитием растений. В подпахотном горизонте содержание данного элемента снижалось аналогично пахотному слою.

Концентрация подвижного калия в почвах агроландшафтов, преобладала в мае, а в последующие месяцы снижалась (таблица 1). Верхняя часть склона характеризовалась средним (участок 1) и низким (участок 2) содержанием калия, нижняя – средним (участок 1) и повышенным (участок 2) [25]. На участке 1 с уклоном местности 0,22°, количество данного элемента в почве, расположенной ниже по склону, в течение исследований значительно не изменилось по сравнению с верхним склоном, а при уклоне 0,10° – увеличилось в 1,5–3,9 раз и составило 124–278 мг/кг в пахотном слое и 177–285 мг/кг – в подпахотном.

Анализ полученных данных показал, что валовое содержание ТМ оказалось значительно ниже установленных норм [24]. Среди исследуемых элементов минимальное содержание отмечено у кобальта, максимальное – у марганца (таблица 2). Кадмий в почве не обнаружен, кроме нижней части склона участков 1 и 2.

Таблица 2 – Валовое содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистой связнопесчаной почве склоновых агроландшафтов

Время отбора	Глубина отбора, см	Тяжелые металлы, мг/кг							
		Cd	Pb	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn
Участок 1 – уклон местности 0,22° (посевы озимой ржи).									
Выше по склону									
Весна	0–25	нпо	5,7	1,5	7,9	4,4	82,8	4,6	19,1
	25–40	нпо	3,4	1,3	6,5	1,6	47,0	2,9	11,4
Лето	0–25	нпо	5,1	1,4	6,7	3,7	73,8	3,6	17,1
	25–40	нпо	2,1	1,4	6,4	1,3	34,6	3,2	9,6
Осень	0–25	нпо	4,9	1,3	6,5	4,2	80,3	3,6	15,7
	25–40	нпо	2,1	1,6	6,9	1,5	34,7	3,4	8,1
Ниже по склону									
Весна	0–25	0,01	5,7	1,8	7,2	4,6	82,6	4,8	19,6
	25–40	нпо	3,5	1,9	7,1	2,9	53,1	4,5	15,2
Лето	0–25	нпо	5,2	1,4	7,9	3,9	71,6	3,7	18,5
	25–40	нпо	2,5	1,5	7,2	1,5	30,9	2,6	8,2
Осень	0–25	нпо	4,3	1,4	6,6	4,1	72,2	3,9	16,9
	25–40	нпо	3,0	1,3	7,2	1,1	33,3	2,9	10,1
Участок 2 – уклон местности 0,10° (посевы кукурузы).									
Выше по склону									
Весна	0–25	нпо	3,8	1,1	4,6	4,0	66,5	2,8	11,3
	25–40	нпо	1,9	1,3	4,6	1,4	33,3	2,7	8,5
Лето	0–25	нпо	4,7	1,3	5,5	4,7	78,3	3,4	16,2
	25–40	нпо	1,7	1,1	4,4	1,2	24,8	2,7	6,1
Осень	0–25	нпо	5,7	1,5	6,0	4,0	74,8	3,8	19,5
	25–40	нпо	1,9	1,2	3,8	1,0	20,7	2,4	8,5
Ниже по склону									
Весна	0–25	0,12	8,0	2,2	9,7	9,6	87,8	3,6	23,5
	25–40	0,14	9,4	2,5	12,7	12,1	87,0	4,6	26,8
Лето	0–25	нпо	9,7	2,2	13,7	8,9	89,0	4,2	21,4
	25–40	нпо	7,4	2,3	15,7	6,7	72,0	4,6	16,9
Осень	0–25	нпо	9,5	3,0	10,6	8,2	83,7	3,8	30,2
	25–40	нпо	10,6	4,0	16,6	10,4	79,7	5,3	34,2

Примечание – нпо – ниже предела обнаружения прибора.

Следует отметить, что концентрации кобальта, хрома и никеля равномерно распределены по профилю почвы. Например, содержание кобальта в слое почвы 40 см в течение всего периода исследований варьировало в пределах 1,1–1,9 мг/кг, а в нижней части склона крутизной 0,10° его количество весной и летом составило 2,2–2,5 мг/кг и к осени увеличилось до 3,0–4,0 мг/кг (таблица 2). Распределение по профилю вышеуказанных элементов определяется гранулометрическим составом почвы, и зависит от наличия илистой фракции [26]. В тоже

время содержание свинца, меди, марганца и цинка преобладало в пахотном слое почвы. Исключение составил участок 2, где ниже по склону различия концентраций ТМ между пахотным и подпахотным горизонтами незначительны.

Что касается распределения химических элементов в почве склоновых агроландшафтов, то при уклоне местности $0,22^\circ$ концентрация экотоксикантов в почве нижней части склона незначительно отличалась от верхней. В то же время при уклоне $0,10^\circ$ содержание никеля и марганца в почве ниже по склону возросло в пахотном горизонте в среднем в 1,2 раза, цинка – в 1,6 раз, кобальта – в 1,9 раз, свинца – в 2,0 раз, меди и хрома в 2,1 раз по сравнению с верхом склона; в подпахотном слое ниже по склону увеличение концентраций составило в среднем 2 раза у никеля, 2,4 раза у кобальта, 3,1 раза у марганца, 3,3 раза у цинка, 3,6 раз у хрома, 5 раз у свинца. У меди разница между верхней и нижней частями склона крутизной $0,10^\circ$ оказалась наибольшей и составила в среднем 8,2 раза.

Заключение. 1. В дерново-подзолистой связнопесчаной почве склоновых агроландшафтов крутизной $0,10^\circ$ и $0,22^\circ$ наибольшая концентрация экотоксикантов зафиксирована в пахотном слое почвы, за исключением кобальта, хрома, никеля, содержание которых равномерно распределено по профилю почвы на глубину 40 см. 2. Разница по количеству элементов между верхней и нижней частями склона более выражена при уклоне местности $0,10^\circ$. Ниже по склону содержание соединений в слое 0–40 см оказалось больше, чем в верхней части склона: азота аммонийного в 1,6–2,5 раз, азота нитратного в 1,6–6,9 раз, калия в 1,5–3,9 раз, тяжелых металлов в среднем 1,2–8,2 раза, но не превышало установленных норм. 3. В агроландшафте с уклоном местности $0,22^\circ$ количество экотоксикантов в почве незначительно отличалось между верхней и нижней частями склона, за исключением азота нитратного в весенний период. 4. Неоднородность содержания экотоксикантов в сельскохозяйственных угодьях усложняет использование единых агротехнологических приемов классического земледелия и требует дифференцированного подхода к разработке возделывания сельскохозяйственных культур с учетом особенностей рельефа, гранулометрического состава почвы и др.

Список цитированных источников

1. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю. В. Алексеев. – Л. : Агропромиздат, 1987. – 142 с.
2. Степанюк, В. В. Влияние комплексов техногенных элементов на химический состав сельскохозяйственных культур / В. В. Степанюк // Агрехимия. – 2003. – № 1. – С. 50–60.
3. Ямалтдинова, В. Р. Влияние систем удобрений на агрохимические показатели и накопление тяжелых металлов в почве и яровой пшенице (*Triticum aestivum* L.) / В. Р. Ямалтдинова, М. Т. Васбиева, Д. С. Фомин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2020. – № 3. – С. 39–43. DOI: 10.26178/AE.2020.78.61.004.
4. Обухов, А. И. Баланс тяжелых металлов в агроценозах дерново-подзолистых почв и проблемы мониторинга / А. И. Обухов, А. А. Попова // Вест. МГУ. Сер. 17, Почвоведение. – 1992. – № 3. – С. 31–39.

5. Амосов, Н. А. Алгоритм здоровья / Н. А. Амосов. – М. : Издательство АСТ, 2002. – 590 с.
6. Белюченко, И. С. Вопросы защиты почв в системе агроландшафта / И. С. Белюченко // Научный журнал КубГАУ, 2014. – № 95(01). – С. 232–241.
7. Муравьев, Е. И. Закономерности латерального и вертикального распределения тяжелых металлов в почвах агроландшафта (на примере изучения агроландшафта ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района, Краснодарского края) / Е. И. Муравьев, Л. Б. Попок, Е. В. Попок, В. Н. Гукалов, И. С. Белюченко // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2007. – Т. 4. – № 1. – С. 5–24.
8. Гукалов, В. Н. Тяжелые металлы в почвах агроландшафта (по результатам исследований ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района Краснодарского края) / В. Н. Гукалов // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2013. – Т. 9. – № 4. – С. 15–44.
9. Атлас почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; под общ. ред. В. В. Лапа, А. Ф. Черныша ; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск : ИВЦ Минфина, 2017. – 170 с.
10. Тиво, П. Ф. Снижение загрязнения окружающей среды при внесении бесподстилочного навоза / П. Ф. Тиво, А. С. Анженков, Л. А. Саскевич // Мелиорация. – 2015. – № 1 (73). – С. 137–149.
11. Медведев, И. Ф. Рельеф и особенности внутрипочвенной миграции питательных элементов в агроландшафте / И. Ф. Медведев, А. С. Бузуева, Д. И. Губарев, В. И. Ефимова, С. С. Деревягин // Агрохимический вестник. – 2016. – № 6. – С. 14–19.
12. Мерзлая, Г. Е. Использование свиного навоза для удобрения сельскохозяйственных культур / Г. Е. Мерзлая, И. В. Щеголева, М. В. Леонов // Перспективное свиноводство: Теория и практика. – 2012. – № 6. – С. 3–8.
13. Никитина, Л. В. Влияние систем удобрений на склоновом агроландшафте на калийный режим суглинистой почвы / Л. В. Никитина, В. А. Романенков // Плодородие. – 2020. – № 4. – С. 35–38. DOI: 10.25680/s19948603.2020.115.10.
14. Папаскири, Т. В. Геохимические исследования агроландшафтов с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур / Т. В. Папаскири, Л. И. Бойценюк, М. А. Хрусталева, С. В. Суслов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2022. – Т. 65. – № 3 (387). – С. 226–230. DOI: 10.55186/25876740_2022_65_3_226.
15. Asmus, F. Therapie für güllebelastete Boden / F. Asmus, M. Volke // Neue Landwirtschaft. – 1993. – № 7. – P. 43–44.
16. Желязко, В. И. Использование бесподстилочного навоза на мелиорированных агроландшафтах Нечерноземья: монография / В. И. Желязко, П. Ф. Тиво, Ю. А. Мажайский. – Рязань : Мещерский ф-л Всеросс. НИИ гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2006. – 304 с.
17. Krutko, S. M. Reducing environmental pollution by animal manure from big farms / S. M. Krutko, P. F. Tivo // Ammonia workshop 2012 Saint Petersburg. Abating ammonia emissions in the UNECE and EECCA region. – Bilthoven : RVM (The Netherlands), 2014. – P. 123–131.
18. Богатырева, Е. Н. Содержание катионов и анионов в дерново-подзолистых почвах, прилегающих к животноводческим комплексам и птицефабрикам / Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, Ю. А. Белявская, Т. М. Кирдун, М. М. Торчило, О. М. Бирюкова // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1 (62). – С. 179–195. – 2020. – № 2 (65). – С. 85–96.

19. Богатырева, Е. Н. Миграция подвижных форм ТМ по профилю дерново-подзолистых почв под влиянием регулярных нагрузок жидких отходов животноводства / Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, Ю. А. Белявская, Т. М. Кирдун, М. М. Торчило // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 1 (62). – С. 179–195.
20. Мерзлая, Г. Е. Использование органических отходов в сельском хозяйстве / Г. Е. Мерзлая // Российский химический журнал (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д. И. Менделеева). – 2005. – Т. XLIX, № 3. – С. 48–54.
21. Дегодюк, С. Э. Нитратное загрязнение окружающей природной среды животноводческими стоками промышленного свиного комплекса в зоне Полесья / С. Э. Дегодюк [и др.] // Природная среда Полесья : особенности и перспективы развития : сб. науч. работ VI Международной научной конференции, Брест, 12–14 сентября 2012 г. / Редкол. : Н. В. Михальчук (отв. ред.) [и др.]. – Брест : Альтернатива, 2012. – Вып. 5. – С. 71–73.
22. Струк, М. И. Оценка средоформирующей роли объектов животноводства в Припятском Полесье / М. И. Струк // Природопользование. – 2015. – № 27. – С. 24–32.
23. Троц, В. Б. Влияние минеральных удобрений на аккумуляцию тяжелых металлов в почве и фитомассе зерновых культур / В. Б. Троц, Д. А. Ахматов, Н. М. Троц // Зерновое хозяйство России. – 2015. – № 1. – С. 45–49.
24. Экологические нормы и правила ЭкоНиП 17.03.01-001-2020. Охрана окружающей среды и природопользование. Земли (в том числе почвы). Нормативы качества окружающей среды. Дифференцированные нормативы содержания химических веществ в почвах и требования к их применению. Введ. 01.07.2021. – Минск : Мин-во природн. ресурсов и охраны окр. среды РБ, 2020. – 6 с.
25. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь : Методические указания. – Минск : Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012 г. – 40 с.
26. Лукин, С. В. Хром и никель в почвах Белгородской области / С. В. Лукин // Агрохимический вестник. – 2012. – № 6. – С. 4–6.

УДК 556.048

РЕКИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «БЕЛОВЕЖСКАЯ ПУЩА» И ИХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

*А. А. Волчек¹, О. Г. Савич-Шемет², Н. Н. Шешко¹, С. И. Парфомук¹,
Н. Н. Шпендик¹, Д. Н. Дашкевич¹, С. В. Сидак¹, М. Ф. Кухаревич¹*

¹УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, volchak@tut.by

²Институт Природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь, savichoks@yandex.by

Аннотация

В статье анализируются современные гидрологические характеристики рек Беловежской пушчи за период инструментальных наблюдений и дается прогнозная оценка водного режима исследуемой территории. С помощью ГИС была обновлена база данных гидрологических характеристик рек Беловежской пушчи.

Ключевые слова: река, сток, гидрология, база данных, Беловежская пушча.

THE NATIONAL PARK "BELOVEZHSKAYA PUSHCHA" RIVERS AND THEIR HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS

A. A. Volchek, O. G. Savich-Shemet, N. N. Sheshko, S. I. Parfomuk, N. N. Shpendik, D. N. Dashkevich, S. V. Sidak, M. F. Kukharevich

Abstract

The article analyzes the modern hydrological characteristics of the rivers of Belovezhskaya Pushcha for the period of instrumental observations and gives a predictive assessment of the water regime of the study area. With the help of GIS, the database of hydrological characteristics of the rivers of Belovezhskaya Pushcha has been updated.

Keywords: river, flow, hydrology, database, Belovezhskaya Pushcha.

Введение. Национальный парк «Беловежская пуца» расположен в восточной части бассейна Вислы, на водосборах рек Нарева и Лесной (Левой и Правой). Вблизи северной и северо-восточной его границ проходит водораздел между Балтийским и Черными морями. Недалеко от северной окраины пуцы берут начало притоки Немана – Свислочь и Россь, а у северо-восточной окраины находится исток Ясельды – притока Припяти, впадающей в Днепр. В юго-восточных пределах пуцы проходит водораздел между бассейнами двух притоков Буга – Левой Лесной и Мухавца [1, 2].

В северной части пуцы исключительно важную роль в регулировании гидрологического режима играет р. Нарев, берущая начало в болотах урочища «Дикое». В южной части Национального парка главными водными артериями являются реки Правая Лесная и Левая Лесная. Правая Лесная берет свое начало на территории Польши, течет в юго-восточном направлении через южную часть Национального парка и на его границе сливается с Левой Лесной, образуя реку Лесную, которая впадает в Западный Буг севернее г. Бреста. Истоки Левой Лесной находятся на территории Национального парка (Шерешевское лесничество). Протекая вначале в юго-восточном направлении, Лесная Левая затем поворачивает на юго-запад и является юго-восточной границей Национального парка. Остальные реки берут свое начало в основном на территории Национального парка и впадают в р. Нарев, р. Левую Лесную и р. Правую Лесную.

Естественных озер на территории Национального парка нет. В результате гидромелиоративных работ, проведенных в предыдущих десятилетиях, создано несколько достаточно крупных искусственных водоемов: Лядское, Хмелевское, Сипурка, Переровница и Колонна.

Водные ландшафты в значительной степени влияют на нормальное функционирование геосистемы Беловежской пуцы, так как от них зависит сохранение естественного водно-энергетического баланса. К водным ландшафтам относятся болотные массивы, заболоченные леса и луга, которые влияют на формирование стока, находящихся на территории пуцы, водных объектов.

Рациональное управление водными ресурсами может быть реализовано только при наличии полной, унифицированной, достоверной и своевременной информации о состоянии и тенденциях изменения водных экосистем или их отдельных компонентов. Системами, обеспечивающими все уровни управления водными ресурсами для определения стратегии природопользования и принятия оперативных решений, являются геоинформационные системы (ГИС) [3, 4].

Целью настоящего исследования было определить основные гидрологические характеристики рек национального парка «Беловежская пуца» в границах Республики Беларусь.

Материалы и методы. Методологической основой исследований явились научные положения о стохастической природе речного стока, что позволило применить статистические методы анализа временных рядов. Используются методы водного и теплоэнергетического баланса, математического моделирования. Системный анализ накопленной информации и сравнительно-географический метод позволили синтезировать и объективно оценить закономерности пространственно-временных колебаний водных ресурсов Национального парка «Беловежская Пуца».

По территории Беловежской пуцы протекает большое количество малых рек и ручьев, однако регулярных гидрологических наблюдений для объективной оценки водных ресурсов недостаточно. Поэтому нами использованы данные гидрологических наблюдений по рекам, не только расположенным на территории Национального парка, но и в непосредственной близости, на которых ведутся или велись гидрометрические наблюдения, а именно: рр. Зельвянка в створе д. Пески, Ясельда в створе Хорева, Рудава в створе д. Рудня, Россь в створе д. Студенец, Нарев в створе д. Немержа, Лесная в створе д. Замосты. Для исследования использованы следующие гидрологические данные по расходам воды: среднегодовые, среднемесячные, максимальные весеннего половодья, максимальные дождевых паводков, летне-осенняя и зимняя межень по постам за период с 1946 по 2018 гг. включительно.

Пропущенные данные в рядах наблюдений восстановлены с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов с учетом наличия синхронности в колебаниях речного стока расчетного створа и створов-аналогов с помощью программного комплекса «Гидролог – 2» [5, 6].

По этим рекам, согласно ТКП 45-3.04-168-2009, определены расчетные гидрологические характеристики с использованием аналитических функций распределения ежегодных вероятностей превышения, в частности трехпараметрического гамма-распределения. На начальном этапе проведена оценка однородности рядов гидрологических наблюдений, на основе генетического и статистического анализов исходных данных наблюдений [7, 8].

По рядам гидрологических наблюдений методом наибольшего правдоподобия определены следующие оценки параметров аналитических

кривых распределения: среднее многолетнее значение \bar{Q} , коэффициент вариации C_v и отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации C_s/C_v . Для оценки тенденций в колебаниях стока использовались математические модели в виде линейных трендов. Количественные показатели этих изменений оценивались градиентом, который численно равен коэффициенту регрессии (a) умноженному на 10 лет, т.е. $\alpha = a \cdot 10$ лет [9].

Для рек, по которым отсутствовали данные гидрологических наблюдений, использовались региональные методы расчета гидрологических характеристик, основанные на результатах обобщения данных гидрометеорологических наблюдений в районе исследования с учетом влияния местных факторов [7, 8].

Использование региональных методик определения основных гидрологических характеристик предусматривает определение ряда гидрографических характеристик водосборов: площадь водосбора, км²; протяженность реки, км; средняя высота водосбора, м; средний уклон русла, ‰; заозеренность, залесенность и заболоченность водосбора, %, которые определялись с помощью ГИС-технологий.

В основу ГИС гидрографической сети территории Национального парка «Беловежская пуца» положены существующие картографические материалы. Все цифровые данные записывались в базу данных ГИС в географических координатах. Геодезической системой сопоставления использовалась Pulkovo 1942. Такой способ записи дал возможность легко трансформировать данные в новую систему плоских координат, которая необходимо для проведения пространственного анализа. Для формирования общей карты всего природно-территориального комплекса «Беловежская пуца» использованы плоские координаты Pulkovo 1942 GK Zona 5N.

В результате обработки графических материалов создана ГИС гидрографической сети природно-территориального комплекса «Беловежская пуца», которая содержит следующие основные слои:

- линейный слой рек;
- линейный слой каналов;
- полигональный слой водоемов;
- полигональный слой водосборов.

В качестве дополнительных слоев ГИС содержит:

- полигональный и растровый слои болот;
- полигональный слой и растровый слои лесного покрова;
- растровый слой водоемов;
- линейный слой границы Национального парка Беловежская пуца;
- точечные слои расположения точек истоков и устьев;
- растры цифровой модели рельефа, топографических планов и космических снимков;

- таблицы.

Линейный слой рек включает в себя 117 объектов общей протяжённостью в более чем 942 км, из которых 53 объекта представлены реками, а остальные – притоками, меандрами и другими объектами. В качестве атрибутивной информации данный слой содержит информацию о наименовании водного объекта, его кодировке, и гидроморфологических параметрах. Дополнительная подключенная атрибутивная информация содержит сведения о среднем уклоне по длине водотока.

Линейный слой каналов содержит 2270 объектов общей протяженностью в 2168 км. В качестве информации слой каналов содержит сведения кодировке объектов, а также сведения о геометрических параметрах. Полигональный слой водоемов представлен 49 объектов общей площадью в 11,6 км². Слой содержит информации о типе водного объекта, его кодировку и геометрические параметры. Из 49 объектов имеют кодировку 46 объектов. В качестве дополнения полигональный слой продублирован в виде растрового изображения.

Полигональный слой водосборов включает в себя 49 объектов. В качестве атрибутивной информации имеются наименования водосборов, их геометрические размеры, сведения о степени залесенности, заозеренности и заболоченности водосборов. В качестве подключенной дополнительной информации в слое содержится информация о площадях лесов, водоёмов и болот для каждого водосбора.

Полигональные и растровые слои болот и лесной растительности представляют визуальную информацию о степени залесенности и заболоченности Национального парка «Беловежская пуца» и прилегающих территорий. Линейный слой границы Национального парка «Беловежская пуца» несет демонстративный характер и содержит лишь информацию об ее протяжённости, которая составляет 568 км.

Точечные слои истоков и устьев рек отображают соответственно расположение истоков и устьев соответственно 53 и 49 рек. В слоях содержится информации о принадлежности к реке и координаты в виде широты и долготы. В слое истоков рек в качестве дополнительной подключённой информации содержатся сведения о высоте точки истока рек.

Растр цифровой модели рельефа представляет визуальную и цифровую информацию о высотах территории Национального парка Беловежская пуца и прилегающих к нему территорий за 2006 – 2008 гг. в виде набора пикселей размерностью в 12,5x12,5 м.

Топографические планы и космические снимки несут только визуальную информацию о территории Национального парка «Беловежская пуца» и прилегающих к нему территорий. После создания таблиц с рассчитанным количеством пикселей болот, водоемов и лесов осуществлялся расчет площадей в пределах водосборов. Зная размер пикселя – 5x5 м с помощью инструмента *Field Calculator* рассчитаны площади, занимаемые данными параметрами.

Результаты и обсуждение. В таблице 1 приведены средние многолетние значения расходов воды годового стока, максимального стока весеннего половодья, максимального стока дождевых паводков, минимального летне-осеннего стока, минимального зимнегостока для рек Ясельда, Рудовка, Россь, Нарев, Лесная, Зельвянка за расчетный период с 1946 по 2018 гг., а также коэффициенты вариации и параметры линейных трендов изменений стока.

Таблица 1 – Основные гидрологические характеристики рек Национального парка «Беловежская пуца»

Река	створ	Вид стока	Норма, м ³ /с	Коэффициенты		Градиент, м ³ /с 10 лет
				вариации	корреляции	
Зельвянка	Пески	Годовой	9,18	0,23	0,01	-0,09
		Половодье	62,5	0,90	0,02	-12,83
		Паводок	14,3	0,52	0,16	-0,31
		Летне-осенний	3,28	0,44	0,33	0,01
		Зимний	4,26	0,33	0,22	0,21
Лесная	Замосты	Годовой	8,16	0,29	0,20	-0,17
		Половодье	48,4	0,82	0,20	-8,85
		Паводок	15,7	0,72	0,24	-2,42
		Летне-осенний	2,18	0,50	0,49	0,13
		Зимний	3,66	0,47	-0,02	0,28
Нарев	Немержа	Годовой	1,33	0,51	0,14	-0,04
		Половодье	12,4	1,02	-0,04	-2,60
		Паводок	2,64	0,64	0,23	-0,08
		Летне-осенний	0,17	0,83	0,11	-0,02
		Зимний	0,33	0,72	0,07	0,02
Россь	Студенец	Годовой	4,91	0,18	0,09	-0,06
		Половодье	36,9	1,20	-0,13	-9,79
		Паводок	6,00	0,40	0,13	0,10
		Летне-осенний	2,82	0,23	0,38	-0,05
		Зимний	3,22	0,27	0,25	0,13
Рудавка	Рудня	Годовой	0,645	0,35	0,18	-0,01
		Половодье	4,53	0,49	0,18	-0,55
		Паводок	2,07	0,73	0,12	-0,25
		Летне-осенний	0,100	0,87	0,10	0,01
		Зимний	0,174	0,70	-0,01	0,02
Ясельда	Хорева	Годовой	3,15	0,34	0,12	-0,10
		Половодье	11,8	0,53	0,13	-1,47
		Паводок	5,23	0,28	0,19	-0,06
		Летне-осенний	0,755	0,52	0,48	-0,01
		Зимний	1,75	0,50	0,53	0,27

Анализ полученных результатов показал, что за период инструментальных наблюдений наблюдается некоторое уменьшение среднего годового стока рек Беловежской пуцы. В тоже время для всех рек отмечено уменьшение стока весеннего половодья и увеличение стока зимней межени. Средний многолетний сток дождевых паводков имеет тенденцию к незначительному уменьшению, а

сток летне-осенней межени, наоборот, – к незначительному увеличению для большинства исследуемых рек.

С использованием метода трехпараметрического гамма-распределения определены годовые расходы воды характерные для очень многоводного года (обеспеченностью 5 %) и очень маловодного года (обеспеченностью 95 %), а также для максимальных расходов воды весеннего половодья, максимальных расходов воды дождевых паводков, минимальных расходов летне-осенней и зимней межени (таблица 2).

Таблица 2 – Расходы воды рек Национального парка «Беловежская пуца» очень многоводных и очень маловодных лет, м³/с

Водность года	Вид стока				
	средний годовой сток	максимальный сток весеннего половодья	минимальный летне-осенний сток	минимальный зимний сток	максимальный сток дождевых паводков
р. Зельвянка – Пески					
<i>P</i> =5 %	13,3	187	6,06	7,27	33,6
<i>P</i> =95 %	7,06	21,3	1,31	1,98	7,87
р. Лесная – Замосты					
<i>P</i> =5 %	12,8	127	3,9	7,18	37,3
<i>P</i> =95 %	5,21	10,5	0,663	1,53	4,63
р. Нарев – Немержа					
<i>P</i> =5 %	2,52	23,9	0,522	0,98	7,74
<i>P</i> =95 %	0,716	1,98	0,011	0,088	0,613
р. Россь – Студенец					
<i>P</i> =5 %	5,95	74,4	3,79	4,97	8,7
<i>P</i> =95 %	4,10	2,92	1,83	2,65	4,65
р. Рудавка – Рудня					
<i>P</i> =5 %	1,35	9,69	0,37	0,599	6,54
<i>P</i> =95 %	0,37	2,57	0,00	0,024	0,623
р. Ясельда – Хорева					
<i>P</i> =5 %	4,74	20,8	2,02	3,64	10,5
<i>P</i> =95 %	2,35	6,27	0,481	1,00	3,31

Для рек, на которых не ведутся регулярные гидрологические наблюдения, параметры распределения и расчетные значения определялись с помощью комплекса методов, а именно: водного баланса; гидрологической аналогии; осреднения в однородном районе; построения карт изолиний и др. [7, 8].

Расчет среднегодовых расходов воды рек Национального парка «Беловежская пуца», а также годовые расходы очень многоводного и очень маловодного годов представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики рек Национального парка «Беловежская пуца»

Река	Водосбор			Норма стока, м ³ /с	Расход воды обеспеченностью, %	
	площадь, км ²	залесенность, %	заболоченность, %		P=5 %	P=95 %
Белая	273,3	23,1	2,1	1,10	1,91	0,507
Березовка	24,7	21,2		0,077	0,126	0,039
Вишня	43,4	77,7	3,0	0,126	0,231	0,051
Гвозна	94,0	93,1	24,1	0,384	0,647	0,185
Гитка	13,3	99,5	1,8	0,038	0,065	0,018
Гурицинка	9,6	56,3	2,7	0,039	0,061	0,021
Друнювка	40,4	69,1	14,8	0,143	0,241	0,069
Еленка	12,3	95,3	14,6	0,042	0,071	0,021
Злота	6,4	40,3	4,0	0,018	0,031	0,009
Зубрица	14,6	91,5	10,3	0,044	0,076	0,021
Калиновец	7,2	99,3	5,3	0,021	0,037	0,009
Колонна	93,8	52,0	15,4	0,478	0,771	0,247
Крапивница	39,1	43,4	2,8	0,137	0,227	0,068
Кулевка	9,9	96,6	18,8	0,034	0,058	0,017
Лесная Левая	435,0	54,3	6,0	1,48	2,61	0,646
Лесная Правая	409,6	63,2	8,0	1,57	2,74	0,705
Ломовка	17,3	57,8	1,6	0,061	0,099	0,031
Лощанка	35,9	19,4	0,0	0,126	0,207	0,064
Лужайка	47,4	19,4	17,1	0,113	0,206	0,046
Лутовка	82,5	92,0	7,3	0,316	0,542	0,147
Медянка	57,8	60,1	17,6	0,276	0,469	0,130
Муравка	5,8	31,9	4,3	0,018	0,031	0,008
Наревка	468,5	60,1	8,7	1,98	3,33	0,959
Немержанка	34,8	98,2	25,3	0,116	0,198	0,055
Ольховка	16,6	30,1	77,3	0,068	0,114	0,033
Орлувка	18,7	98,8	24,2	0,066	0,110	0,033
Переволока	33,2	96,6	17,0	0,098	0,167	0,047
Перedelка	17,8	17,8		0,056	0,093	0,028
Песец	9,0	95,7	4,4	0,035	0,059	0,017
Плюсковка	96,8	97,2	22,1	0,332	0,595	0,137
Побойка	13,5	91,4	11,4	0,047	0,079	0,023
Полична	126,7	66,9	4,0	0,528	0,898	0,249
Поперечная	57,1	8,8	0,4	0,186	0,332	0,078
Пчелка	37,9	64,9	15,8	0,152	0,247	0,076
Сипурка	67,3	27,9	2,0	0,193	0,327	0,091
Соломенка	84,8	91,9	23,2	0,193	0,327	0,091
Станок	19,2	94,3	5,4	0,056	0,098	0,025
Точница	38,3	20,5	0,2	0,133	0,240	0,056
Тушемлянка	26,8	64,9	27,9	0,095	0,159	0,046
Хоровка	21,0	50,9	1,0	0,074	0,116	0,039
Щиба	124,7	44,3	2,9	0,652	1,03	0,353
Яменка	40,3	98,4	16,0	0,119	0,203	0,056
Ятвезь	55,0	29,1		0,186	0,305	0,098

Заключение. Выполнен анализ базы данных гидрологических наблюдений за стоком рек Беловежской пуши за различными видами (среднегодовой, среднемесячный, весеннего половодья, дождевых паводков, летне-осенняя и зимняя межень) по действующим закрытым гидрометрическим постам за период инструментальных наблюдений по 2018 год включительно. В ходе проведенных исследований восстановлены пропущенные расходы воды, ряды наблюдений приведены к единому расчетному периоду с 1946 по 2018 гг., выполнена оценка на однородность. Сформированная гидрологическая база позволяет решать ряд гидрологических, экологических и водохозяйственных задач для рек Национального парка «Беловежская пуца».

В ходе исследований с помощью ГИС-технологий актуализирована гидрографическая информация по рекам Национального парка «Беловежская пуца», включающая площадь водосбора, длину реки, уклон водосбора, залесенность и заболоченность территории в абсолютном и относительном выражении и другие параметры. Это позволило оценить сток рек для различных по водности лет.

Анализ колебаний стока рек за период инструментальных наблюдений показал незначительное изменение уменьшение среднего годового стока рек. В тоже время наблюдается на всех реках уменьшение стока весеннего половодья и увеличение стока зимней межени. Средний многолетний сток дождевых паводков имеет тенденцию к некоторому незначительному уменьшению, а сток летне-осенней межени, наоборот, – к незначительному увеличению для большинства исследуемых рек.

Благодарности. Работа выполнена в рамках задания ЗТ.2.5. «Выполнить анализ и прогноз изменений водного режима территории Беловежской пуши и разработать рекомендации по его поддержанию» ГНТП «Зеленые технологии ресурсопользования и экобезопасности» Подпрограмма «Устойчивое природопользование и инновационные технологии переработки, охраны и воспроизводства природных ресурсов».

Список цитированных источников

1. Блакітны скарб Беларусі: Рэкі, азёры, вадасховішчы, турысцкі патынцыял водных аб'ектаў / маст.: Ю. А. Тарэеў, У. І. Цярэнцьеў. – Мінск : БелЭн, 2007. – 480 с.
2. Блакітная кніга Беларусі: Энцыклапедыя. – Мн. : БелЭн, 1994. – 415 с.
3. Шайтура, С. В. Геоинформационные системы и методы их создания / С. В. Шайтура. – Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 1997. – 253 с.
4. ArcView GIS: Руководство пользователя. – М. : МГУ, 1998. – 365 с.
5. Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Веснік Палескага джэаржаўнага універсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – № 1. – 2009. – С. 22–30.
6. Волчек, А. А. Оценка трансформации водного режима малых рек Белорусского Полесья под воздействием природных и антропогенных факторов (на примере р. Ясельда) / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Водное хозяйство России. – 2007. – № 1. – С. 50–62.

7. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250)// Минск : РУП «Стройтехнорм», 2010. – 55 с.
8. Волчек, А. А. Гидрологические расчеты : учебное пособие / А.А. Волчек. – Москва : КНОРУС, 2021. – 418 с.
9. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, С. И. Парфомук, И. А. Булак // под общ. ред. А. А. Волчек, В. Н. Корнеева. — Брест : Издательство «Альтернатива», 2017. – 225 с.

УДК 551.5+515.9(476)(043)

**ОСОБЕННОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ
ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ (ОЯ)
НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ЗА ПЕРИОД 2008-2020 гг.**

Ю. А. Гледко, М. В. Медведько

УО «Белорусский государственный университет», Минск, Беларусь,
gledko74@mail.ru

Аннотация

Изучены особенности количественных и пространственно-временных изменений опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) на территории Республики Беларусь за период 2008-2020 гг., а также определены наиболее уязвимые регионы, для которых гидрометеорологическое обслуживание имеет особую значимость.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления, количественные изменения, теплый период, холодный период, район, область, пространственно-временные изменения.

**FEATURES OF QUANTITATIVE AND SPATIO-TIME CHANGES OF
HAZARDOUS HYDROMETEOROLOGICAL PHENOMENA (HP)
ON THE TERRITORY OF BELARUS FOR THE PERIOD 2008-2020**

Y. A. Hledko, M. V. Medvedko

Abstract

The features of quantitative and spatio-temporal changes in hazardous hydrometeorological phenomena (HP) on the territory of the Republic of Belarus for the period 2008-2020 were studied, and the most vulnerable regions were identified, for which hydrometeorological services are of particular importance.

Keywords: dangerous hydrometeorological phenomena, quantitative changes, warm period, cold period, district, region, spatial-time changes.

Введение. Для территории Беларуси характерно значительное разнообразие природных, экономических и социальных потерь, связанных с опасными гидрометеорологическими явлениями (ОЯ), а также изменениями климата. Опасные гидрометеорологические явления (ОЯ) – метеорологические, гидрологические,

агрометеорологические явления, которые по своей интенсивности, продолжительности, времени возникновения и площади распространения могут привести или привели к значительным потерям в экономике и создают угрозу здоровью и жизни человека [4, 9].

Как показывает практика, влияние опасных метеорологических явлений (особенно их возрастающая повторяемость, обусловленная в первую очередь климатическими изменениями), концентрация производственной и социальной активности в создающихся агломерациях часто приводят к тому, что воздействие гидрометеорологических факторов на население и экономику становится существенным, а нередко крайне опасным и разорительным, угрожая устойчивому развитию социально-экономических систем. От решений, которые принимаются на основе предоставляемых результатов гидрометеорологических наблюдений, прогнозов погоды и данных об опасных явлениях, различных обобщений гидрометеорологической информации и аналитических обобщений по климату, ежедневно зависят жизнь и экономическое благосостояние миллионов людей во всем мире [3].

Таким образом, установление общих закономерностей формирования ОЯ и их пространственно-временных изменений приобретает особую актуальность, а выделение районов с наибольшей частотой их повторяемости имеет большое практическое значение.

В настоящее время опубликован ряд работ белорусских ученых по анализу числа случаев опасных метеорологических явлений (ОЯ) на территории Беларуси, а также их пространственно-временного распределения, изучаются синоптические условия и причины их образования, а также выделяются территории с наибольшей повторяемостью случаев ОЯ. К их числу относятся работы В. Ф. Логина, А. А. Волчека, И. Н. Шпоки, Ю. А. Гледко, О. В. Давыденко, П. С. Лопуха и других [1, 2, 4, 5, 7, 8]. Так, в 2010 г. вышла монография «Опасные метеорологические явления на территории Беларуси», в которой проанализирован материал за период 1975-2008 гг. [4].

В настоящей работе были изучены особенности количественных и пространственно-временных изменений опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ) на территории Республики Беларусь за период 2008-2020 гг., а также определены наиболее уязвимые регионы, для которых гидрометеорологическое обслуживание имеет особую значимость.

Материалы и методы. Для анализа тенденции изменения интенсивности ОЯ на территории Беларуси исходными материалами послужили фондовые данные Государственного учреждения «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» за период 2008-2020 гг. Учитывались все ОЯ, которые наблюдались хотя бы в одном из пунктов наблюдений. Если ОЯ наблюдалось одновременно на нескольких станциях, и было вызвано одним и тем же атмосферным процессом, то оно считалось как один случай.

По результатам проведенного анализа были определены территории с наибольшей повторяемостью числа случаев ОЯ и их видов, визуализированные

картографическим методом, а также построены диаграммы повторяемости ОЯ как в целом по Беларуси, так и по ее регионам.

Результаты и обсуждение. Для исследования тенденций изменения интенсивности ОЯ на территории Республики Беларусь в качестве объектов исследования были выбраны все ОЯ, встречающиеся за период 2008-2020 гг.: очень сильный дождь, очень сильная жара, ливень, очень сильный ветер, шквал, смерч, град, пожароопасность, очень сильный снег, гололед, налипание мокрого снега. Вышеперечисленные ОЯ представляют особый интерес для изучения из-за их влияния на социально-экономическую систему страны.

За период 2008-2020 гг. на территории Беларуси было зафиксировано 11 видов ОЯ, 8 из которых являются ОЯ теплого периода.

Распределение разных видов ОЯ на территории областей не является одинаковым. Наибольшее количество видов ОЯ было зафиксировано в Витебской и Гомельской областях и составило по 10 разных видов, а наименьшее – в Гродненской и Могилевской областях и составило по 6 разных видов соответственно (таблица 1).

Таблица 1 – Количество разных видов ОЯ в областях Беларуси в период 2008-2020 гг.

Название области	Виды ОЯ
Брестская	Очень сильная жара, очень сильный дождь, ливень, очень сильный ветер, чрезвычайная пожарная опасность, очень сильный снег, налипание мокрого снега – 7 видов.
Гомельская	Очень сильная жара, очень сильный дождь, ливень, очень сильный ветер, град, смерч, шквалы, чрезвычайная пожарная опасность, очень сильный снег, налипание мокрого снега – 10 видов.
Могилевская	Очень сильная жара, очень сильный дождь, очень сильный ветер, град, чрезвычайная пожарная опасность, очень сильный снег – 6 видов.
Гродненская	Очень сильная жара, очень сильный дождь, ливень, очень сильный ветер, град, чрезвычайная пожарная опасность – 6 видов.
Минская	Очень сильная жара, очень сильный дождь, ливень, очень сильный ветер, град, чрезвычайная пожарная опасность, очень сильный снег, налипание мокрого снега – 8 видов.
Витебская	Очень сильная жара, очень сильный дождь, ливень, очень сильный ветер, смерч, шквалы, чрезвычайная пожарная опасность, очень сильный снег, гололед, налипание мокрого снега – 10 видов.

Из таблицы 1 следует, что из всех областей Беларуси только на территории Гродненской области в исследуемый период были зафиксированы ОЯ исключительно теплого периода. Среди областей Беларуси Витебская область отличается самым большим количеством видов ОЯ холодного периода в сравнении с другими областями.

На рисунке 1 представлены количественные особенности пространственного распределения разных видов ОЯ по административным районам Республики Беларусь.

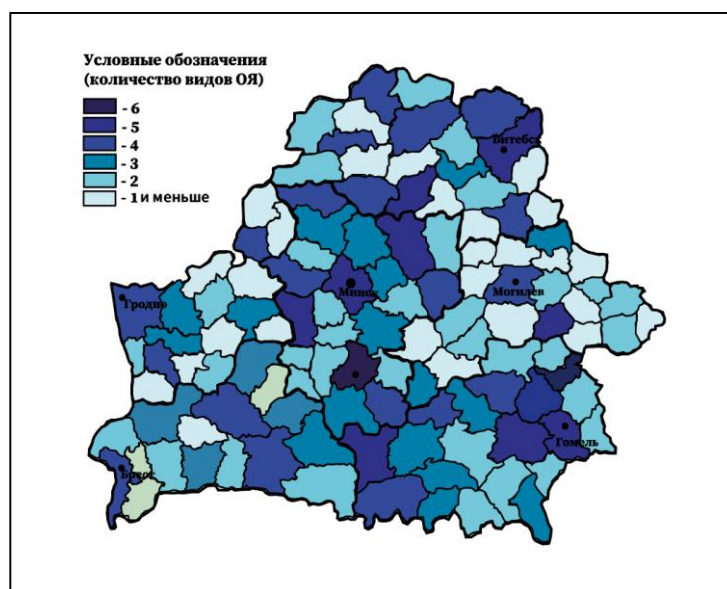


Рисунок 1 – Количество разных видов ОЯ в областях Республики Беларусь в период 2008-2020 гг.

В целом, применительно к Республике Беларусь разброс количества видов ОЯ отличается пространственной неоднородностью, что обусловлено природными и климатическими особенностями территории: наибольшее количество видов ОЯ составляет 6, а наименьшее – 1. Как видим, наибольшее количество видов ОЯ зарегистрировано в Слуцком и Чечерском районах (по 6 видов в каждом). Так, из видов ОЯ в Слуцком районе наблюдались: очень сильная жара, очень сильный дождь, ливень, крупный град, очень сильный ветер и пожароопасность. В Чечерском районе были зафиксированы такие ОЯ, как очень сильная жара, очень сильный дождь, очень сильный ветер, шквалы, смерчи и пожароопасность.

В 45% административных районов страны наблюдалось свыше 3 разных видов ОЯ, а в 26% – по 5 разных видов ОЯ. Лишь в 2 районах Беларуси количество видов ОЯ составило 6, что составляет лишь 1,7% от общего количества административных районов страны. Следует отметить, что свыше чем в 65 районах Беларуси (из 118) отмечались по 2 и менее разных видов ОЯ в период 2008-2020 гг. (55%).

В целом, концентрация наибольшего количества разных видов ОЯ наблюдается на:

- северо-востоке и юге Витебской области;
- севере и юге Минской области;
- западе Гродненской области;
- западе и северо-востоке Брестской области;
- северо-западе и северо-востоке Гомельской области.

На территории Беларуси с 2008 по 2020 гг. было зафиксировано 179 случаев ОЯ. Из них 91% – ОЯ теплого периода, что составляет 163 случая от общего количества. В то время как на ОЯ холодного периода года пришлось лишь 9% и составило 16 случаев.

На рисунках 2 и 3 отражены особенности количества случаев ОЯ на территории Беларуси.

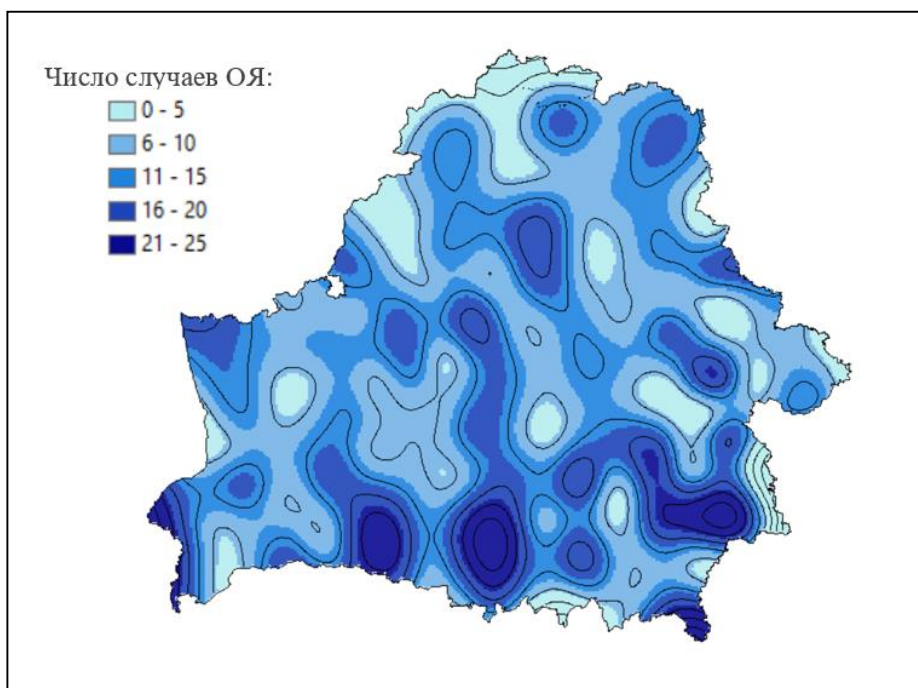


Рисунок 2 – Число случаев ОЯ на территории Беларуси в период 2008-2020 гг.

Из рисунка 2 видно, что наибольшее число случаев ОЯ характерно для юга Беларуси, в частности, это Припятское Полесье. В пределах Брестской и Гомельской области выделяются районы, для которых характерно наибольшее число случаев ОЯ за исследуемый период: Житковичский и Гомельский – 22 и 20 соответственно; Пинский – 16. Также следует отметить, что для территории Гомельской области характерно не только наибольшее количество разных видов ОЯ, но и количество случаев. В свою очередь, наименьшее число случаев ОЯ на территории Беларуси наблюдается на западе, северо-западе и востоке страны (северо-запад Витебской области, центральные районы Гродненской области и Центральные районы Могилевской области).

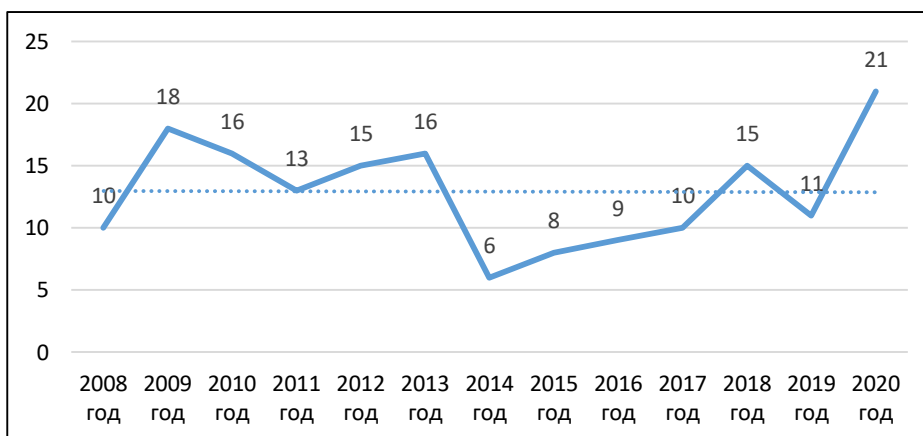


Рисунок 3 – Количество случаев ОЯ на территории Беларуси в период 2008-2020 гг.

Проанализировав видовые особенности ОЯ на территории Беларуси по областям, следует сопоставить их с количеством случаев по каждой из областей Беларуси. На рисунке 4 показано число случаев ОЯ по областям Беларуси.

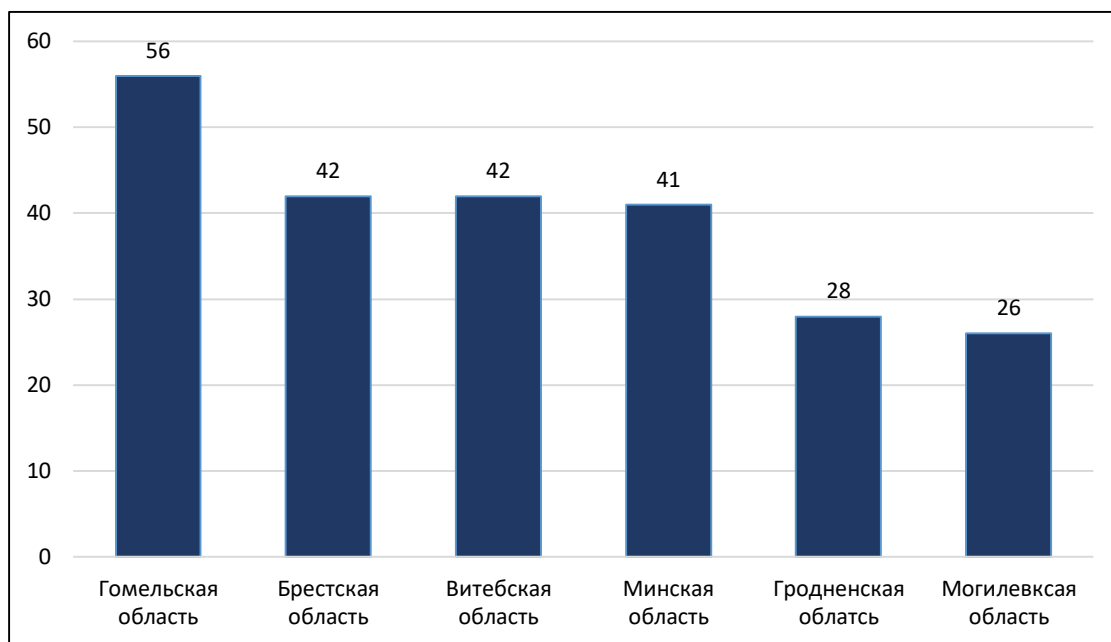


Рисунок 4 – Распределение числа случаев ОЯ по административным областям Беларуси

Как следует из рисунка 4, наибольшее количество случаев было зафиксировано в южных областях Беларуси (Гомельской и Брестской), что составляет 55 % от общего количества случаев.

Необходимо отметить, что на территории Гомельской области было зафиксировано как наибольшее число видов ОЯ, так и их число случаев в период 2008-2020 гг. Однако Витебская область не характеризуется как территория с наибольшим числом случаев ОЯ, так как имеет наиболее северное расположение, что подчиняется тенденции увеличения числа случаев ОЯ теплого периода, например, сильной жары, сильного дождя и других. Так, в Витебской области было зафиксировано наибольшее количество видов ОЯ холодного периода и составило 3: очень сильный снег, гололед и налипание мокрого снега на провода. В Гродненской и Могилевской областях отмечается как наименьшее число разных видов ОЯ, так и число случаев ОЯ в период 2008-2020 гг.

Рассмотрим количественные изменения ОЯ в пределах областей Беларуси. На рисунке 5 отражены графики числа случаев ОЯ на территории Брестской, Гомельской, Могилевской, Гродненской, Минской и Витебской областей. Из проанализированных данных следует, что в изучаемый период в таких областях, как Брестская, Гродненская и Витебская наблюдается положительный тренд числа случаев ОЯ, в то время как на территории Гомельской, Могилевской и Минской областей с каждым годом отмечается все меньшее число случаев ОЯ.

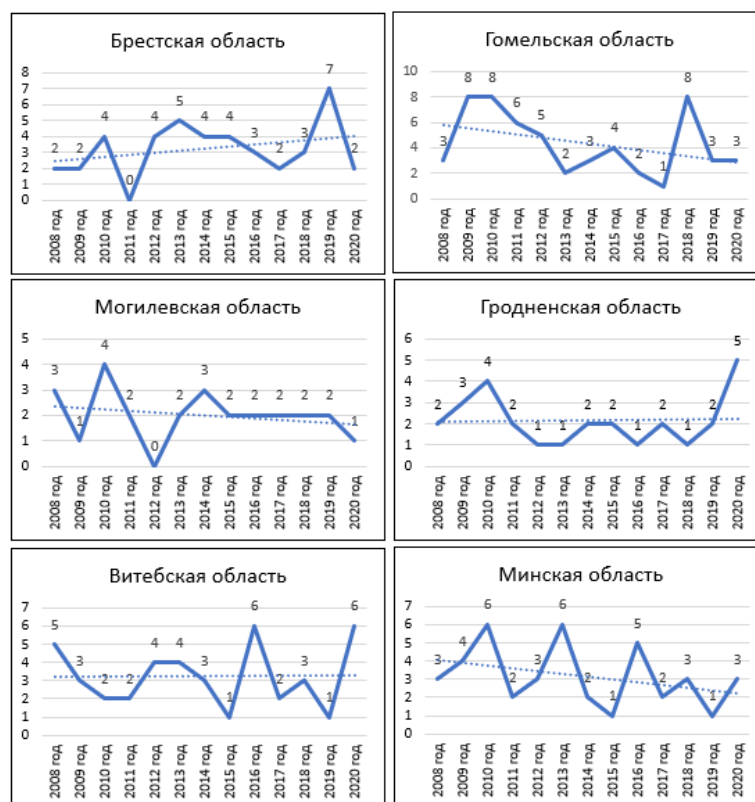


Рисунок 5 – Число случаев ОЯ по областям в период 2008-2020 гг.

В Гомельской области максимальное количество случаев ОЯ за год составило 8, что, в свою очередь, является максимальным числом случаев ОЯ за год среди всех областей Беларуси. В Брестской и Могилевской областях в 2011 г. и в 2012 г. соответственно не наблюдались ОЯ [6].

Заключение. Таким образом, были выявлены районы с наибольшим количеством разных видов ОЯ и числом случаев по областям. Из анализа следует, что Витебская и Гомельская области отличаются наибольшим количеством разных видов ОЯ в период 2008-2020 гг. (по 10 разных видов ОЯ), в то время как наибольшее число случаев ОЯ было зафиксировано в южных областях Беларуси – Гомельской и Брестской, и составило 56 и 42 случая соответственно. Проведенное исследование позволило установить, что в условиях потепления климата снижается количество ОЯ холодного периода. При анализе данных было выявлено, что наиболее часто отмечающимися ОЯ являются очень сильный дождь и очень сильная жара. В дальнейшем будет проведена оценка интенсивности воздействия ОЯ на субъекты хозяйствования и определены наиболее уязвимые регионы, для которых гидрометеорологическое обслуживание имеет особую значимость.

Список цитированных источников

1. Волчек, А. А. Закономерности формирования опасных метеорологических явлений на территории Белоруссии / А. А. Волчек, И. Н. Шпока // Ученые записки Рос. государств. гидрометеорологического ун-та: науч.-теоретич. журнал. – 2011. – № 17. – С. 64–88.
2. Гледко, Ю. А. Особенности прогнозирования грозных явлений на территории Беларуси // Ю. А. Гледко, Я. А. Соколовская // Проблемы гидрометеоро-

логического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата: материалы Междунар. науч. конф., Минск, 5-8 мая 2015 г. /редкол.: П. С. Лопух (отв. ред.) [и др.]; Белорус. гос. ун-т. – Минск : Изд. центр БГУ, 2015. – С. 243–245.

3. Коршунов, А. А. Анализ интенсивности воздействия опасных условий погоды на социально–экономическую систему / А. А. Коршунов, А. Ю. Рыбанова, А. А. Фокичева, М. З. Шаймарданов // Ученые записки РГГМУ. – 2018. – № 53. – С. 18–33.
4. Логинов, В. Ф. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока; Национальная академия наук Беларуси, Институт природопользования, 2010. – 129 с.
5. Логинов, В. Ф. Сравнение пространственно-временных особенностей изменений опасных метеорологических явлений в характерное и нехарактерное для них время года / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока // Природопользование: сб. науч. тр. Вып. 19. / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т природопользования НАН Беларуси; гл. ред. А. К. Карабанов. – Минск, 2011. – С. 5–21.
6. Медведько, М. В. Тенденции изменения интенсивности опасных гидрометеорологических явлений на территории Беларуси / М. В. Медведько // 78-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета [Электронный ресурс]: материалы конф. В 3 ч. Ч. 1, Минск, 11–22 мая 2021 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол. : В. Г. Сафонов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2022. – С. 433–437.
7. Сумак, Е. Н. Циклоническая активность и повторяемость опасных явлений погоды над территорией Беларуси. Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология / Е. Н. Сумак, И. Г. Семёнова– 2019. – № 2. – С. 79–93.
8. Шпока, И. Н. Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений на территории Беларуси: автореф. дис. ... канд. геог. наук: 25.00.30 / И. Н. Шпока; Нац. акад. наук Беларуси. – М., 2012. – 19 с.
9. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения, ТКП 17.10-06-2008 (02120) (01.01.2009). Минск : БелНИЦ «Экология», 2008. – 30 с.

УДК 556, 504.453, 551.583

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

И. С. Данилович¹, Е. Г. Квач²

¹Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
irina-danilovich@yandex.ru

²Белгидромет, Минск, Беларусь, sheg_82@mail.ru

Аннотация

В работе представлен анализ современных тенденций в режиме речного стока на территории Беларуси, связанных с изменением климата в последние десятилетия. Показано, что годовой сток в период 1948-2020 гг. характеризуется

отсутствием значимых трендов. Продолжается снижение максимальных расходов воды весеннего половодья, которое зафиксировано с конца 1970-х гг., и усилившееся в 1990-2020 гг. Наибольшие изменения характерны для бассейнов малых рек вследствие их более высокой чувствительности к климатическим аномалиям. В теплый период года отмечены малые изменения доли летне-осеннего стока, но установлен рост повторяемости маловодных периодов на реках и одновременный рост высоты дождевых паводков на большинстве рек страны. Прогнозные оценки показывают дальнейшие колебания годового стока рек в пределах 10%, снижение максимального и увеличение минимального стока летне-осенней межени.

Ключевые слова: изменение климата, речной сток, половодье, паводок, межень, климатические проекции.

CURRENT CHANGES AND PROJECTIONS OF HYDROCLIMATE CHARACTERISTICS OVER TERRITORY OF BELARUS

I. S. Danilovich, A. H. Kvach

Abstract

The study presents an analysis of current trends in the river runoff regime within the territory of Belarus, associated with a climate change in recent decades. It is shown, that the annual runoff is characterized the absence of significant trends during the period 1948-2020. The decrease of spring maximum discharges continues since the late 1970s, and intensified in 1990-2020. The greatest changes are typical for small river basins due to their higher sensitivity to climate anomalies. In the warm period of the year, small changes were noted in the summer-autumn low-flow. However, an increase of hydrological droughts frequency and an increase of rain floods height was established on most rivers of the country. Hydrological projections show further fluctuations in the annual river flow within 10%, a decrease of spring maximum discharges and an increase of the minimum streamflow in summer-autumn.

Keywords: climate changes, runoff, flood, low-flow, climate projections.

Введение. Изменение климата, отмечающееся в последние десятилетия на глобальном уровне, имеет свои региональные различия. Изменения гидрологического режима связаны с разнонаправленными тенденциями выпадения осадков и повышением температуры воздуха, в том числе в зимний сезон, и проявляются в увеличении/уменьшении повторяемости и высоты наводнений на реках в Европейском регионе. В частности, паводки увеличились в северо-западной и некоторых частях центральной Европы, вызванные увеличением осенних и зимних дождей; но при этом снизились в южной части Европы из-за уменьшения количества осадков и увеличения испарения; в северо-восточной Европе паводки уменьшились из-за сокращения снежного покрова и быстрого таяния снега.

Повторяемость наводнений различных градаций на реках Беларуси уменьшилась в последние десятилетия, наиболее часто наводнения отмечались в 1950-60-ые гг., в период потепления климата в связи с повышением температуры воздуха, в том числе в зимний сезон, и быстрым расхождением запасов воды в снеге, половодья на реках Беларуси отмечают реже, а в некоторые годы на отдельных реках не выражены [1].

Изменение климата также повлияло на сроки наводнений. К этим изменениям относятся весенние паводки в результате таяния снегов в северо-восточной Европе, которые стали отмечаться раньше (на реках Беларуси сроки прохождения весеннего половодья сместились на месяц раньше обычного), зимние паводки в бассейне Северного моря и части побережья Средиземного моря, происходящие позже из-за отложенных зимних штормов, и зимние паводки в Западной Европе, наблюдающиеся раньше, вызванные более ранними максимумами влажности почвы [2].

Согласно прогнозам, наводнения повторяемостью 1 раз в 100 лет увеличатся в большинстве регионов Европы, наибольший рост прогнозируется в центральной и восточной Европе. Напротив, сокращение катастрофических наводнений прогнозируется для некоторых частей северной Европы (из-за уменьшения запасов снега и, следовательно, наводнений, связанных со снеготаянием) и для юга Испании и Турции (из-за уменьшения количества осадков) [3].

Гидрологический прогноз для регионов Европейской территории России (ЕТР) [4] показывает, что для северных территорий ожидается увеличение осадков и температур, что дает незначительные изменения среднемноголетнего стока, но вызывает значительную перестройку внутригодового распределения стока, для центрального региона значимые изменения стока возможны при реализации сценария RCP8.5. Для равнинных территорий на юге ЕТР ожидается неблагоприятное сочетание повышения температур со снижением количества осадков.

Минимальный сток снизился в южной Европе и на большей части центральной Европы, тогда как в северной Европе он увеличился [5]. По прогнозам, в большинстве европейских регионов, за исключением центрально-восточной и северо-восточной Европы, прогнозируются все более сильные гидрологические засухи [6]. На реках Беларуси незначительно изменилась доля летнего и осеннего стока, но при этом наблюдается тенденция снижения наименьших уровней летне-осенней межени.

В связи с разнонаправленными изменениями современных и ожидаемых изменений в режиме речного стока на территории Европы, цель настоящей работы заключалась в установлении тенденций и количественных оценок трансформации стока рек на территории Беларуси, связанных с изменением климата.

Материалы и методы. Для оценки гидрологического режима рек на территории Беларуси использованы данные инструментальных измерений на 32 гидрологических постах государственной сети гидрометеорологических наблюдений Белгидромета Минприроды. В качестве исходных данных использованы среднемесячные и характерные расходы воды: наибольшие расходы весеннего половодья и дождевых паводков, наименьшие расходы зимней и летне-осенней межени.

Количественная оценка трансформации водного режима выполнена за период 1948-2020 гг., для установления особенностей режима рек в период заметного изменения климата Беларуси принят период 1989-2020 гг.

Расчет прогнозных гидрологических характеристик выполнялся с использованием численной модели «Гидрологические прогнозы для окружающей среды»

(Hydrological Predictions for the Environment, HYPE) [7] за период 2030-2040 гг. для трех сценариев концентрации парниковых газов RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5.

Результаты и обсуждение. Исследования изменения режима рек в связи с потеплением климата на территории Беларуси не выявили значимых трендов годового речного стока [8-11]. Между тем внутригодовое распределение стока за последние десятилетия существенно изменилось. В частности, значительно увеличился сток в периоды зимней межени. Это увеличение было связано с увеличением повторяемости оттепелей, что привело к частым зимним паводкам, приходящимся на период зимней межени, в то время как весенний сток и высота половодий уменьшались из-за истощения запасов воды в снеге перед началом весеннего снеготаяния.

Согласно выводам исследования [9] произошло уменьшение максимальных паводковых расходов во время весеннего снеготаяния в бассейне Западной Двины до 20 %, в бассейнах рек Неман, Днепр и Припять до 50-60 % в период 1989-2005 гг. Даты начала половодья в этот период сдвинулись на более ранние сроки на 11-22 дня.

В работе [12] установлено, что с 1970 гг. и более значительно с 1990 гг. снижение максимального стока наблюдается по всей территории Беларуси, причем наибольшие изменения характерны для северо-запада страны. В бассейне реки Западная Двина снижение составляет от 15 до 18 л/с км². Наименьшие изменения снижения стока весеннего половодья были на юге и в центре страны, в основном в бассейне реки Припять, где изменения составляли от 4 до 18 л/с км².

Результаты исследования [13] показали, что наибольшее снижение максимальных расходов произошло в бассейне реки Вилия (Неман) до 50-80% в 1989-2009 гг. по сравнению с 1951-1987 гг. и объясняется частичным перебросом речного стока в бассейн реки Свислочь (Днепр). Наименьшие изменения в пределах 0-10% наблюдались в верхнем течении бассейна р. Припять, что связано с более интенсивными мелиоративными работами в этом районе.

Авторами в работе [14] установлено, что максимальные уровни весеннего половодья снизились на 3-56 см в бассейне рек Западной Двины, на 13-108 см в бассейнах рек Неман и Западный Буг, на 17-148 см в бассейне р. Днепр и на 7-60 см в бассейне р. Припять в 1989-2015 гг. Начало весеннего половодья сместилось в среднем на 4-12 дней в сторону ранних сроков.

В исследовании [10] выявлен рост весеннего стока в юго-восточной части страны на 15-40% и снижение на 6-30% на юго-западе в 1986-2015 гг. по сравнению с периодом 1961-1985 гг.

В работе [15] показаны значительные отрицательные тренды наибольших расходов воды во время весеннего половодья для верхнего и среднего течения реки Западная Двина. Оценки изменения стока колеблются в пределах 69-89 м³/с за десятилетие с наибольшими значениями в среднем течении и наименьшими значениями трендов в верхнем течении бассейна.

В исследовании [16] установлено продолжающееся снижение максимальных расходов во всех речных бассейнах в 1989-2020 гг. Наибольшие изменения были выявлены в бассейнах малых рек в связи с их большей чувствительностью к

климатическим аномалиям, таким как экстремальные осадки или засухи. Отрицательные тренды модулей максимального стока рек колеблются от 5-6 л/с км² за десятилетие в бассейнах малых рек до 1-3 л/с км² за десятилетие в бассейнах больших рек на территории Беларуси.

В режиме летне-осенней межени изменения характеризуются разнонаправленными тенденциями. В работе [17] авторами установлено, что минимальный летне-осенний сток в период 1966-2000 гг. по сравнению с 1932-1965 гг. увеличился на большинстве рек Беларуси. Снижение минимального стока отмечено лишь в бассейне реки Западный Буг и верховье бассейна р. Припять. Согласно исследованию [18], на реках бассейнов Западной Двины, Немана и Днепра в период 1966-2010 гг. отмечается уменьшение величины дождевых паводков, в бассейне р. Припять – в основном увеличение на 10-20%.

В работе [19] показано, что в бассейне реки Западная Двина доля летне-осеннего стока мало изменилась, но увеличилась высота дождевых паводков на 1-5 л/с км² за период 1989-2020 гг. по сравнению с 1948-1988 гг. В бассейне реки Неман на некоторых притоках незначительно снизилась доля летне-осенней межени и на большинстве рек существенно снизилась высота дождевых паводков теплого периода (на 2-6 л/с км²). Отличительной особенностью периода потепления является значительный недобор осадков в бассейне Немана и рост повторяемости гидрологических засух до 25 %.

В бассейне реки Днепр доля летне-осеннего стока по бассейну характеризуется увеличением до 4 % (кроме р. Березина). Характерной особенностью для бассейна является увеличение значений наибольших расходов воды во время прохождения теплых дождевых паводков на 1-3 л/с км² и наименьших расходов воды периода открытого русла на 0,1-0,25 л/с км².

В бассейне реки Припять доля летне-осенней межени значимо не изменилась (в пределах 2-3%), но отмечается увеличение значений наименьших расходов воды в период открытого русла на 0,1-0,15 л/с км² и увеличение высоты дождевых паводков на главной реке на 0,8-0,9 л/с км², и снижение их на притоках на 0,9-2,4 л/с км²

Согласно расчетам гидрологической модели НУРЕ, дальнейшее изменение гидрологического режима рек Беларуси ожидается в соответствии с происходящими тенденциями. В годовом стоке в период 2030-2040 гг. при реализации сценария RCP2.6 прогнозируются незначительные изменения в режиме рек на большей части страны, за исключением бассейна реки Днепр, где ожидается снижение годового стока до 10% за счет пространственной неоднородности выпадения осадков и меньшего количества осадков (в пределах 10-15 мм) за сезон по сравнению с другими бассейнами, особенно весной и осенью. При реализации сценария RCP4.5 и RCP8.5 ожидается увеличение годового стока во всех речных бассейнах в пределах 5-10 %.

Изменение максимального стока весеннего половодья в сторону снижения в пределах 6-7 % ожидается при сценарии RCP2.6; при сценарии RCP4.5 значимых изменений не ожидается; при сценарии RCP8.5 ожидается снижение на 10-13 % только в бассейне реки Западная Двина. В бассейне реки Неман снижение максимального стока предположительно составит 8-11% при реализации сценария

RCP2.6, и сохранится на прежнем уровне без значимых изменений при реализации остальных сценариев концентрации парниковых газов. В бассейне реки Днепр при сценарии RCP2.6 ожидается снижение максимального стока на 10-15 %; при сценарии RCP4.5 прогнозируются незначительные изменения; при RCP8.5 в верховье бассейна снижение составит до 14 %, в среднем и нижнем течении до 5 %. В бассейне реки Припять при всех сценариях концентрации парниковых газов значимых изменений максимального стока не прогнозируется.

Расчеты показали увеличение минимального стока летне-осенней межени в 2030-2040 гг. без значимых различий по сценариям: в бассейне р. Западная Двина на 20-35%, в бассейне реки Неман на 8-26 %, в бассейне р. Днепр на 6-16 %, в бассейне р. Припять на 2-19 %, на большинстве притоков в пределах 7-9 %. Увеличение стока в летне-осенний период можно объяснить ожидаемым ростом сезонных сумм осадков, в частности увеличением отклонений сумм осадков высокой интенсивности на фоне роста продолжительности засушливых периодов.

Заключение. В режиме годового стока рек Беларуси в последние десятилетия отмечается чередование высоких и низких по водности лет. Продолжается снижение максимальных расходов воды весеннего половодья, и достигает в сравнении с многолетними показателями 1-6 л/с км². Наибольшие изменения были выявлены в бассейнах малых рек в связи с их большей чувствительностью к климатическим аномалиям, таким как экстремальные осадки и засухи.

На режим межени стока в теплый период года оказали влияние изменения в структуре выпадения осадков, которые заключаются в росте максимальных сумм осадков и одновременном росте числа дней без осадков и повторяемости засух [19]. На реках отмечается увеличение повторяемости очень маловодных периодов во всех речных бассейнах, и одновременно увеличение высоты дождевых паводков и/или рост наименьших расходов воды периода открытого русла (кроме бассейна р. Неман).

Прогнозные оценки речного стока показывают, что в бассейне реки Западная Двина ожидается небольшое изменение годового стока – от нормы до 10 %, максимальный сток весеннего половодья может снизиться на 6-13 %. Сток летне-осенней межени предположительно увеличится на 10-30 %.

В бассейне реки Неман годовой сток предположительно увеличится на 5-10%, изменение максимального стока весеннего половодья ожидается в сторону снижения на 8-11%, изменение летне-осеннего стока прогнозируется в сторону увеличения на 8-26 %.

В бассейне р. Днепр при сценарии RCP2.6 ожидается снижение годового стока в пределах 10 %, при сценариях RCP4.5 и RCP8.5 – увеличение на 5-10 % вследствие роста осадков. Расчеты показали снижение максимального стока весеннего половодья в верховье на 10-15 %, в среднем и нижнем течении реки до 5 %. Минимальный сток летне-осенней межени предположительно увеличится на 6-16 %.

В бассейне реки Припять изменения годового стока возможны в сторону повышения на 5-10 %. Максимальный сток весеннего половодья продолжит снижение, но величина изменения незначительна. В период летне-осенней межени возможно увеличение минимального стока на 2-19 % на основной реке и на 7-9 % на притоках.

Список цитированных источников

1. Данилович, И. С. Особенности формирования водности рек Беларуси в последние десятилетия / И. С. Данилович, Л. Н. Журавович, М. Е. Нагибина, Е. Г. Квач // Природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 5–12.
2. Blöschl, G. Changing Climate Shifts Timing of European Floods / Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R.A.P., Merz, B., Arheimer, B., Aronica, G.T., Bilibashi, A., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G.B., Claps, P., Fiala, K., Frolova, N., Gorbachova, L., Gül, A. // Science. – 2017. – Т. 357. – P. 588–590.
3. Alfieri, L. Global Warming Increases the Frequency of River Floods in Europe / Alfieri, L. // Hydrology and Earth System Sciences. – 2015. – №. 19. – P. 2247–2260. doi: 10.5194/hess-19-2247-2015.
4. Сидорова, М. В. Влияние региональных изменений климата на возникновение экстремальных гидрологических ситуаций на Европейской территории России в XXI века // Институт географии РАН. – 2020. – РФФИ 18-05-00891. – 175 С.
5. Gudmundsson, L. Anthropogenic Climate Change Detected in European Renewable Freshwater Resources / Gudmundsson, L., Seneviratne, S. и Zhang, X. // Nature Climate Change. – 2017. – №. 7. – P. 813–816.
6. Cammalleri, C. Global Warming and Drought Impacts in the EU / Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Bisselink, B., Roo, A., Feyen, L. // JRC PESETA IV Project. – 2020. – DOI:10.2760/597045.
7. Lindström, G. Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales. // Hydrology Research. – 2010. – DOI: 10.2166/nh.2010.007.
8. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов // В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Минск : Тонпик. – 2006. – 160 с.
9. Полищук, А. И. и Чекан, Г. С. [ред.]. Гидрологический мониторинг Республики Беларусь. Минск : Книгазбор, 2009. – 275 с.
10. Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, Брест : Альтернатива, 2017. – 240 с.
11. Лопух, П. С. Влияние атмосферной циркуляции на формирование гидрологического режима рек Беларуси / П. С. Лопух, И. С. Партасенок, Минск : БГУ, 2014. – 224 с.
12. Partasenok, I. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus // Partasenok, I., Groisman, P., Melnik, V., Chekan, R. // Environ. Res. Lett. – 2014. – № 9. – doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/109602.
13. Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз // В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, А. А. Волчек, Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.
14. Данилович, И. С. Особенности формирования водности рек Беларуси в последние десятилетия / И. С. Данилович, Л. Н. Журавович, Е. Г. Квач, М. Е. Нагибина // Природные ресурсы. 2017. – № 2. – С. 5–12.
15. Danilovich, I. The Past and Future Estimates of Climate and Streamflow Changes in the Western Dvina River Basin / Danilovich, I., Zhuravlev, S., Kurochkina, L.,

Groisman, P. //Frontiers in Earth Science. – 2019. – № 7. – doi: 10.3389/feart.2019.00204.

16. Логинов, В. Ф. Современные и ожидаемые гидроклиматические изменения в бассейнах Балтийского и Арктических / В. Ф. Логинов, И. С. Данилович, Л. М. Китаев, Е. М. Акентьева // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – №. 66(3). – С. 338–347.
17. Волчек, А. А. Минимальный сток рек Беларуси / А. А. Волчек, О. И. Грядунова // Брест : БрГУ имени А.С. Пушкина, 2010. – 300 с.
18. Волчек, А. А. Паводки на реках Беларуси / А. А. Волчек, Т. А. Шелест // Брест : БрГУ, 2016. – 199 с.
19. Данилович, И. С. Современные изменения режима увлажнения в теплый период и условий формирования стока летне-осенней межени на реках Беларуси / И. С. Данилович, Н. Г. Пискунович // Природные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 22–33.

УДК 551.79.561(476)

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИ ИЗУЧЕННЫЕ РАЗРЕЗЫ СРЕДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА БЕЛАРУСИ СТАТУСА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ ПРИРОДЫ

Я. К. Еловичева

УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Беларусь,
yelovicheva@yandex.ru

Аннотация

В статье приведены данные о природных обнажениях и искусственных объектах горных пород среднего плейстоцена в статусе геологических памятников природы республиканского значения на территории Беларуси, отложения которых были исследованы палинологическим методом.

Ключевые слова: геологические разрезы, объекты, природное наследие, палинологический метод.

PALYNOLOGICALLY STUDYED SECTIONS OF BELARUS OF THE STATUS OF GEOLOGICAL MONUMENTS OF NATURE

Ya. K. Yelovicheva

Abstract

The article presents data on natural outcrops and artificial objects of Middle Pleistocene rocks in the status of geological natural monuments of republican significance on the territory of Belarus, the deposits of which were studied by the palynological method.

Keywords: geological sections, objects, natural heritage, palynological method.

Введение. За последние 800 тыс. лет территория Беларуси неоднократно подвергалась воздействию Скандинавских ледниковых покровов, которые формировали разнообразные формы рельефа, способствовавшие созданию уникальных природных объектов в виде геологических разрезов – выходящих на

поверхность по берегам рек, озёр, склонам оврагов и возвышенностей естественных обнажений межледниковых и ледниковых толщ, а также искусственных (стенки карьеров, шахт, каналов, керн буровых скважин и др.). Разнообразные по своему составу эти отложения исследуются учеными методами абсолютной (датирование пород) и относительной (палеонтологическими и непалеонтологическими) хронологии. Наиболее ценными являются редкие и уникальные разрезы/обнажения горных пород, в которых захоронены древние остатки растительных и животных организмов, свидетельствующие об условиях развития компонентов ландшафтов прошлых геологических периодов (климат, флора, фауна, история палеоводоемов, природных зон и пр.). В комплексе с данными прочих методов исследования эти уникальные разрезы и являются *геологическими памятниками природы*.

Материалы и методы. Научные исследования показали, что наиболее широко развитым в регионе и важным из палеонтологических методов является палинологический (объектами являются пыльца, споры растений и массулы), имеющий способность определить состав флоры и восстановить характер растительности в разные периоды геологического прошлого.

Результаты и обсуждение. Значимым в изучении отложений геологических разрезов является установление как можно более полного состава флоры, в особенности экзотичной для территории региона, для детальной реконструкции основных компонентов природной среды прошлого и возраста ископаемой толщи осадков. Результаты исследования континентальных толщ контролируются ныне данными непрерывных океанических геохронологических шкал.

В настоящее время из 31 геологического памятника природы республиканского значения (рисунок 1) палинологическим методом изучены отложения в 21 разрезе, и только в 3 из них представлены образования среднего плейстоцена, характеристика которых кратко приводится ниже с обновленными данными.

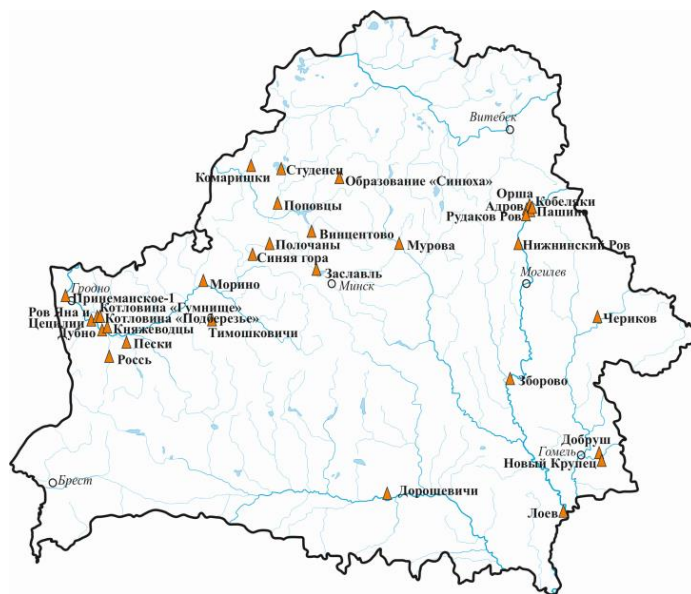


Рисунок 1 – Местоположения геологических разрезов на территории Беларуси в статусе памятников природы Республиканского значения (составила Н. М. Писарчук)

– «**Нижнинский ров**» (Могилевская обл., Шкловский р-н, 54.2131000 и 30.2877000 – 31.07.2006) – обнажение выявлено в нижнем и самом крупном из трех оврагов левого коренного берега р. Днепр у г. Шклова, напротив льнозавода на правом берегу Днепра, в 700 м на юг от д. Ржавцы. Площадь его составляет 7,7 га, ширина 150 м, высота 27 м, глубина ~30 м, крутизна склонов 37°. Ров – результат работы текучей воды, когда она в начале 50-х гг. XX в. подмыла его правый склон и вызвала обвал мощной толщи моренного суглинка, в результате чего обнажились пласты пород, слагающие склон, в т. ч. и торф разной степени разложения. Естественное обнажение торфяника было открыто учеными академиком Г. И. Горецким и В. М. Мотузом в 1965 г. [1], голоценовый его возраст опровергло первичное ^{14}C -датирование обломков древесины более 50 тыс. лет ИГН АН СССР [2], а палинологическое изучение пород показало его принадлежность к шкловскому межледниковью [3-6].

Позднее в связи с проведением на Беларуси геологических полевых экскурсий XI Международного конгресса ИНКВА (Москва, 1982) и XXVII Международного геологического конгресса (Москва, 1984 г.) во Рву под руководством академика Г. И. Горецкого были осуществлены в обширном масштабе комплексные исследования обнажения (геологические – бурение опорных и ручных скважин на территории обнажения и в его окрестностях; палинологические – по 24 расчисткам, углубленным со дна оврага скважинами ручного бурения до подстилающей толщи днепровской морены и 4-м скважинам опорного бурения на его бортах; а также палеокарпологические, остракодологические, палеоэнтомофаунистические, рентгеновские, термолюминесцентные – в слоях с ископаемыми остатками флоры и фауны и в отдельных частях разреза). Это позволило детально представить строение плейстоценовой толщи осадков в непосредственной близости от озёрно-болотной межледниковой линзы (залегает на трех моренных горизонтах днепровского, березинского и белорусского/наревского оледенений с разделяющими их межморенными образованиями и перекрыта сожским ледниковым комплексом отложений), доказать неразрывную и непосредственную связь с подстилающей ее днепровской мореной через комплекс позднеледниковых осадков, синхронное распределение по палеокотловине древнеозерных слоев по временным срезам шкловского межледниковья и их нормальную стратиграфическую последовательность, наличие неразрывной связи шкловских межледниковых образований и перекрывающего их сожского моренного горизонта через комплекс сожских раннеледниковых осадков, отсутствие фактов отторженцевой природы озёрно-болотной линзы и нарушения в ней процессов напластования пород [7].

В овраге выявлены повсеместно выстилающие дно палеокотловины и подстилающие органогенную толщу *днепровская морена* (суглинок моренный тёмно-серый) и отложения *днепровского позднеледниковья* (тёмно-серые глина, суглинок, супесь, песок, гиттия мощностью до 1 м; дата в 216000 ± 18000 лет КТЛ-1М/85) – 240-180 тыс. л. н., МИС-8) [4]. Приледниковый олиготрофный палеоводоём начал своё существование в холодных климатических условиях, окружавший его ландшафт отличался особым перигляциальным типом

растительности из представителей лесной, тундровой и степной флор, окрестности занимали открытые пространства из травяных ассоциаций и последовательно сменявшиеся еловые галерейные с пихтой формации, берёзовые, лиственничные, еловые и смешанные берёзово-сосновые группировки.

Толща древних озёрно-болотных отложений *шкловского межледниковья* мощностью до 13,05 м в центре котловины (180–125 тыс. л. н. – МИС-7) и представлена осадками *раннемежледниковья* (гиттия, торф листоватый, песок; берёзово-сосновые леса с примесью ели, ольхи, лиственницы), *трех оптимумов* (основного раннего из торфа листоватого, торфа – развиты широколиственные леса из дубовые с вязом, липовые, клён, ясень) леса, ольшаники, в подлеске орешник; а в два последующие оптимума (торф листоватый, гиттия, торф, супесь, суглинок) распространялись широколиственно-хвойные лесов с преобладанием дуба и вяза, липы, затем граба, ольшаников, с участием орешника, хмелеграба, падуба, лиственницы, единично пихты) и *двух межоптимальных похолоданий* (возраст суглинка раннего из них – 162000±15000 лет КТЛ-2М/85 [4], гиттия, супесь, торф листоватый, глина при развитии сосновых, сосново-берёзовых и берёзово-сосновых лесов с елью, лиственницей, пихтой, термофильными породами, нередко богатым травяным ярусом наряду с разреженными сосново-берёзовыми и берёзово-сосновыми лесами с елью, лиственницей, участием ольхи, травяным покровом во втором похолодании; *позднемежледниковья* (торф листоватый, суглинок), ознаменовавшегося разреженными берёзово-сосновыми и сосново берёзовыми лесами с участием ели, лиственницы, единично пихты на фоне открытых ландшафтов с хорошо развитым травяным покровом.

Перекрывает древние органогенные слои мощная (до 11 м) толща образований *сожского раннеледниковья* (суглинок, глина шоколадная, супесь, озёрно-аллювиальные и перигляциальные пески; перигляциальный тип растительности: открытые травяные пространства, островные еловые и разреженные берёзовые, берёзово-сосновые с пихтой и елью, сосново-берёзовые с елью ассоциации) и красно-бурая супесчаная морена *сожского оледенения* мощностью в 5 м (супесь, глина, песок с гравием; 125–110 тыс. л.н. – МИС-6), который последним занимал район исследований, а покинув его, оставил наследие в виде сформированного палеорельефа).

Как видно из новых данных, Нижнинский палеоводоём занимал большую площадь, отличался неоднократным переходом озёрной системы в болотную, последующим возрождением из заросшего болота в озёрный водоём.

Из 200 таксонов шкловской межледниковой палинофлоры 65% растений являются современными, 15% – чуждыми, 4% – вымершими, 16% – обладают неопределёнными географическими связями. Содержание (3-4%) экзотических растений (*Ostrya*, *Ilex*, *Picea sect. Sula*, *Pinus sect. Cembrae*, *Azolla filiculoides*, *Umus propinqua*, *Eriocaulaceae*, *Woodsia cf. manshuriensis*, *Quercus pubescens*, *Tilia tomentosa*, *Tilia platyphyllos*, *Pilularia*, *Betula sect. Costatae*, *Ligustrum*) и неопределённых (*Coniogramma*, *Adiantum*) указывает на промежуточное положение шкловской флоры между александрийской и муравинской.

Климат шкловского межледниковья был умеренно-континентальный, тёплый (жаркое лето, мягкая зима), его показатели превышали современные: в ранний оптимум средняя T^0 января на $2-5^0$, июля на 3^0 , годовое количество осадков на 50-150 мм, а в средний и поздний – средней T^0 января на $3-6^0$, июля на $2-3^0$, годового количества осадков на 250 мм. Климат межоптимальных похолоданий сходен с таковым юга темнохвойной тайги (тёплое лето, холодная зима), но отличался бóльшей суровостью и континентальностью: средняя T^0 января превышала на 7^0 , июля на $1-2^0$, среднегодовая величина осадков на 100-1500 мм.

Палеокарпологическое изучение всей толщи отложений данного обнажения выявило остатки 195 видов древесных, кустарниковых и травянистых растений (16 вымерших видов, 16 экзотических и 163 вида свойственны современной флоре региона), среди которых величина вымерших и экзотов (16 %) существенно удревнила их возраст до раннеплейстоценового беловежского межледниковья (550–480 тыс. лет н. – МИС-15) за счет включения в общий список карпоидов переотложенных видов из слоев днепровского позднеледниковья и сожского раннеледниковья. Применение сопряжённого анализа установило четкую принадлежность остатков семенной флоры к основным стратиграфическим подразделениям разреза Нижнинский Ров и выявило присутствие лишь 4-7% вымерших видов в собственно межледниковой флоре. Эти данные определяют принадлежность шкловской флоры к среднему плейстоцену на фоне их величины в 10-12 % в александрийских и 2-2,5 % в муравинских флорах.

Богатые семенные комплексы знаменуют оптимумы межледниковья, а интервалы межоптимальных похолоданий хоть и обеднены теплолюбивыми видами, но практически не содержат холодолюбивых растений и не указывают на наличие ледниковой обстановки в это время.

Палеоассоциация остракод из 15 видов, 10 родов, 5 семейств выявлена из отложений днепровского позднеледниковья и начала шкловского межледниковья с полным отсутствием в тафоценозе теплолюбивых видов, преобладанием термоиндифферентных рачков и существенным количеством холодолюбивых форм (кандон), что свидетельствует о сравнительно низких температурах водной массы, а также глубинах обитания не более 1,5 м (присутствуют герпетоциприссы и лимноцитеры).

Смена комплексов видов насекомых (гидробионты, береговые, луговые, лесные) из шкловских межледниковых отложений отразила историю развития палеоводоёма, палеоландшафта, климата с конца первого оптимума (лесное озеро → осоковое, осоково-гипновое, а затем ольхово-ивняковое болото → лесное озеро с высоким уровнем воды → озеро с падением уровня воды → зарастание прибрежной части водоема мощной осоково-ивняковой полосой) и в течение межоптимального похолодания. Отсутствие в последнем тундровых и характерных перигляциальных видов насекомых не допускает возможности считать это похолодание самостоятельным оледенением.

В дальнейшем динамика водоема выразилась в высоком поднятии его уровня (конец второго максимума межледниковья) → и падении уровня воды (второе межоптимальное похолодание). Среднеиюльская T^0 по данным энтомофауны во время начала и конца второго оптимума была сходна с современной, но это не

адекватно максимальной фазе оптимума (по палинологическим данным она превышала нынешнюю на 2-3°), где находки насекомых не выявлены.

Рентгеновский анализ [5, 8] по соотношению глинистых минералов выявил шесть временных интервалов: I – каолинит и гидрослюда (суглинки днепровского позднеледниковья, гиттии раннемежледниковья и начала первого оптимума шкловского межледниковья) → II – кварц и полевые шпаты (листоватый торф и супесь торфянистая второй половины первого оптимума; тёплый и сухой климат мог быть причиной отсутствия глинистых минералов, хотя не исключено непродолжительное и короткое воздействие на порообразующие минералы (представлена только термоксеротическая фаза развития растительности) → III – увеличение содержания каолинита и гидрослюды (гиттия, торф листовый, супесь торфянистая и супесь первой половины межоптимального похолодания); умеренные климатические условия с относительно небольшими колебаниями потеплений и похолоданий → IV – неравномерное содержание каолинита и гидрослюды (суглинок, гиттия, супесь торфянистая, торф листоватый и торф второй половины этого же похолодания) как отражение смен относительно тёплых и более прохладных отрезков времени; здесь же повышенное количество каолинита с максимумом в фазу граба при тёплом и влажном климате (гиттия, торф второго оптимума → V – максимумы каолинита и гидрослюды в средней части интервала (супесь торфянистая и супесь в продолжающемся втором оптимуме; постепенная смена тёплого и влажного климата оптимума умеренно-тёплым) → VI – возрастание содержания каолинита и гидрослюды, появление монтмориллонит (супесь торфянистая, супесь и суглинок в последующем межоптимальном похолодании и третьем оптимуме при умеренно-тёплом и влажном климате).

Как отмечено выше, радиоуглеродный анализ обломков древесины показал дату >50 тыс. лет (ИГН АН СССР) [2], что указывает на его возраст древнее голоценового межледниковья.

Термолюминесцентный анализ подтвердил отнесение лимногляциального суглинка к днепровскому позднеледниковью (216000±18000 лет КТЛ-1М/65 Киев, ИГН НАНУ, МИС-8), а суглинка первого межоптимального похолодания (между ранним и средним оптимумами) к шкловскому межледниковью (162000±15000 лет КТЛ2М/85 Киев, ИГН НАНУ = МИС-7) [4, 5] среднего плейстоцена. Новая дата >170000 лет и более (С.-Петербург, Гановер) свидетельствует больше в пользу среднего, чем раннего плейстоцена [5].

Таким, образом, разрез Нижнинский Ров имеет ранг стратотипического шкловского межледниковья (180-125 тыс. л. н.) и статус геологического памятника природы республиканского значения на Беларуси, занимает особое по значимости место – это естественное обнажение толщи органогенных озёрных и болотных осадков древнего палеоводоёма, который существовал ~60-70 тыс. лет: с конца днепровского оледенения, на протяжении шкловского межледниковья (~55 тыс. л.) и на ранних этапах формирования сожского ледника.

Уникальный по своей сохранности, представленности остатков органического мира, чётком стратиграфическом положении в плейстоценовом разрезе и длительности хронологической летописи, ценный в

палеогеографическом, стратиграфическом, палеоэкологическом, научном, историко-культурном и эстетическом отношении этот природный объект относится к одному из немногих в мире, достаточно полно исследованных комплексом методов; в 1980 г. на XI Конгрессе Международного союза по изучению четвертичного периода (INQUA). Нижнинский Ров был признан учеными-исследователями из Англии, Нидерландов, Германии, Чехии и других стран объектом мировой значимости, превосходящий аналогичные объекты в других регионах Северной Евразии и Северной Америки, а в Европе входит в число двух таких феноменов: один – во Франции, другой – в Беларуси, возле Шклова.

По утверждению ученых, обнажение «Нижнинский ров», известное уже на протяжении почти 60 лет, необходимо рассматривать в качестве эталона при изучении теоретических и практических вопросов развития природы плейстоцена, образования месторождений полезных ископаемых, формировании рельефа земли.

Он приобрел свою известность и как туристический объект. Наивысшей точкой Нижнинского Рва является Лысая гора высотой более 30 м, на которой в 2003 г. введен в эксплуатацию туристско-экскурсионный комплекс «Лысая гора», выполненный в стиле древнеславянского деревянного зодчества. Мимо Лысой горы по р. Днепр проходил водный путь, который в летописи получил название «из варяг в греки».

– «**Принеманское-1**» (ранее **Жидовщина**); (Гродненская обл., Гродненский р-н, 53.6567N и 23.9056E – 31.07.2006) — на правом берегу р. Нёман у д. Принеманское, в верхней части приеманского оврага «**Колодежный Ров**» (**Черная Балка**) в 200-250 м ниже основной расчистки I, в 9,6 км на юг от д. Путришки, в 3 км на восток-юго-восток от восточной окраины г. Гродно, в 620-860 м от долины Немана, к востоку от азотно-тукового завода на окраине Гродно; на правом склоне оврага, в 20 м ниже родника-колодца, выходящего на левом борту оврага.

Обнажение «Принеманское-1» – известно ученым уже около 150 лет (в 1872 г. исследователь Т. Дымчевич обнаружил в склонах оврага Колодежный органогенные породы с остатками межледниковой флоры) и признается самым представительным из известных в мире разрезом александрийских (лихвинских, гольштейнских, миндель-рисских) отложений, выходящих на поверхность. Их изучали Б. Яронь, М.М. Цапенко, Н.А. Махнач, Н.Я. Кац, С.В. Кац, Е.Н. Ананова и другие. В результате новых комплексных геологических и палеонтологических исследований отложений в верхней части приеманского оврага «Колодежный» под руководством академика Г.И. Горецкого в конце XX–начале XXI вв., было уточнено геологическое строение палеокотловины и в центральной и самой глубоководной части палеоводоема выявлено два повторяющихся самостоятельных ритма ледникового (моренного, озерно-ледникового) и межледникового (озерно-болотного и руслового) осадконакопления с общей мощностью толщи в 10,67 м.

Установление непрерывности седиментогенеза и значительно бóльшей длительности геологической летописи палеоводоема и состояния природной

среды (флора, растительность, климат) с конца раннего (еселевское оледенение: 400-380 тыс. л. н. – МИС-12) и на протяжении большей части среднего плейстоцена (александрійское межледниковье: 380–340 тыс. л. н. – МИС-11), яхнинское оледенение: 340-280 тыс. л. н. – МИС-10), смоленское межледниковье: 280-240 тыс. л. н. – МИС-9) в общей сложности в течение 160 тыс. лет. [9-13], а также обобщение палеонтологического материала из 8 расчисток показало наличие в озерно-болотной толще (мощностью 7 м) богатого и разнообразного состава ископаемых остатков растений и животных, дало основание этому геологическому обнажению **стать ныне палеонтологостратиграфическим памятником природы всемирного значения.**

В свете новых данных, дно палеокотловины устилает **еселевская морена** и озерно-ледниковые слои **еселевского позднеледниковья** (супесь грубая, гумусированная). Ранее [14], в разрезе Принеманская была датирована (ТЛ ЛУ 610 тыс. лет, ИГН АН СССР) сервечская морена (или нижнеберезинская по Г.И. Горещкому), отвечающая по дате МИС-16 (550–610 тыс. л. н.).

Вышележащая **александрійская межледниковая толща** характеризует устойчивый озерно-болотный режим **раннемежледниковья** (песок, супесь темно-серая и торфянистая в фазу сосны, березы, ольхи, термофильных пород, сменившаяся гиттией фазы ели с сосной и ольхой); **двух климатических оптимумов** (1-й – гиттия фазы широколиственных пород с ольхой и орешником, позднее супеси озерной фазы, пихты и ели; 2-й – супесь темно-серая и торфянистая в фазу сосны с термофильными породами, ольхой) **и разделяющего их межоптимального похолодания** (гиттия с торфом в фазу ели и сосны, затем суглинка и супеси фазы сосны); **позднемежледниковья** (суглинок в раннюю фазу березы, лиственницы и трав, а в позднюю – сосны; гиттия фазы березы и трав; песок (в фазу сосны, пихты, ели). Имеется две абсолютные датировки из слоя озерной гиттии постоптимальной фазы — IRSL >208600±16000 л. н. и IRSL >154400±9600 л. н. (С.-Петербург, Гановер). Экзотические и редковстречаемые растения александрійского межледниковья представлены *Abies alba*, *Larix*, *B. sect. Costatae*, *Tilia tomentosa*, *T. platyphyllos*, *Quercus pubescens*, *Ulmus campestris*, *Zelkova*, *Ostrya*, *Juglans*, *Osmunda cinnamomea*, *Hypophae rhamnoides*, *Picea sect. Omorica*, *Sequoia*, *Trapa natans*, *Nymphaea candida*. Для умеренно-холодных климатических интервалов характерны аркто-бореальные растения – *Alnaster*, *Selaginella selaginoides*, *Betula humulus*, *B. nana*. Семенная флора приеманской свиты (межледниковых александрійских отложений) представлена 188 остатками растений, из которых 50 экзотов, 12 ныне вымерших.

Последующий **яхнинский раннеледниковый** озерно-аллювиальный этап Колодежного палеоводоема отличался весьма неустойчивым, динамичным режимом русловых вод и садкой грубой озерной супеси зеленовато-серой, неслоистой (фаза сосны, березы, трав, переотложения древних микрофоссилий); **яхнинская акватическая морена** (супесь, суглинок с гравием, галькой, со слабой слоистостью свидетельствовала о холодных условиях фазы разреженных березово-сосновых лесов), а перекрывающие ее озерно-

аллювиальные слои *яхнинского позднеледникового* – о слабо устойчивом режиме накопления супеси).

Перекрывающая эти слои *смоленская межледниковая толща* знаменует динамичный режим накопления руслового аллювия – *раннемежледниковья* (песок в фазу сосново-березовых лесов с елью, мезо- и термофильных пород), *первого/раннего климатического оптимума* – песок фазы широколиственных (грабовых и липовых) лесов с сосной и пихтой, сменившихся сосново-еловыми лесами с березой и термофильными породами), *1-го межоптимального похолодания* (песок без растительных микрофоссилий), *второго термического максимума* – песок фазы широколиственно-сосновых лесов (дубовые с редким вязом, грабовые) с березой, ольшаником, обильным орешником, сменившихся сосново-широколиственными (граб, дуб, редкие вяз и липа) и сосновыми лесами с елью и березой, редкой ольхой и орешником, травяными ассоциациями), *2-го межоптимального похолодания* (супесь с прослоями песка без растительных микрофоссилий), *третьего оптимума* – супесь тонкозернистая с прослоями песка в фазу широколиственно-сосновых (грабовых) лесов с пихтой, елью, березой, ольхой, орешником, а также травяного яруса), *3-го межоптимального похолодания* (песок фазы сосновых с елью лесов при небольшом участии мезо- и термофильных пород, травяного яруса), *четвертого/позднего климатического оптимума* – песок фазы широколиственных (преимущественно грабовых, липовых с вязом) лесов с елью и сосной, ольшаником, обильным орешником) – МИС-9. Обедненный состав экзотических элементов смоленской флоры (*Abies alba*, *Larix*, *Betula sect. Costatae*) и аркто-бореальных реликтов (*Betula humulus*, *B. nana*, *Hurpphaë rhamnoides*) свидетельствует в пользу ее молодого возраста по сравнению с александрийской эпохой. Выше залегает *современная почва*.

Характерно, что наличие русловой фации в разрезе отражает динамический режим р. Неман в смоленское межледниковье в отличие от устойчивого озерно-болотного режима палеоводоема на протяжении александрийского межледниковья. На месте прежнего Принеманского озерно-болотного бассейна, использовавшего для своей котловины естественное понижение в рельефе, в смоленское межледниковье уже активно проявилось воздействие русла реки, размывая предшествующие древние образования. В перспективе можно продолжить исследования этого уникального по своей геологической летописи природного объекта в ожидании большей научной информации о наличии в нем еще более древних слоев гляциоплейстоцена.

– «**Рудаков Ров**» (Могилевская обл., Оршанский р-н, 54°23' с.ш. 30°24' в.д. – 18.03.2008) — в 0,6 км к западу от северо-западной окраины д. Сметанка, на левом и правом берегах безымянного ключевого ручья. Это типичная эрозионная долина и уникальное обнажение александрийских межледниковых отложений в ее днище. В верховье долина разветвляется, в средней и нижней частях она имеет линейную форму и относительную глубину до 20-30 м. Плоское дно лощины выстлано аллювиальными и делювиально-пролювиальными песками, супесями и суглинками. Склоны обычно покатые, но в местах прорыва р. Лапта (приток Днепра) – обрывистые, сложенные из флювиогляциальных, моренных и лессовидных отложений.

Рудаков Ров образовался за последние 14 тыс. лет во время *поозерского позднеледниковья* и *голоцена* в результате размыва лессовидных и других рыхлых отложений сначала временными водотоками, а потом р. Лапта.

Обнажение древних озерных отложений (гиттия, глина, песок мощностью до 2 м) дает возможность реконструировать историю развития палеоводоема и растительного покрова в восточной части Беларуси в *березинское позднеледниковье* (березовое редколесье с лиственницей, травяные ассоциации открытых мест) и *александрійское межледниковье* (340–380 тыс. л. н., МИС-11: смена лесных сосновых, сосново-березовых, сосновых с елью лесов смешанными и широколиственными ассоциациями с ольхой, орешником, в последующем – хвойными из ели, пихты, сосны; экзоты и редковстречаемые растения из *Larix, Abies*) [15].

Заключение. 1. Как видно из изложенного научного материала, на территории Беларуси к памятникам природы отнесен пока 31 геологический разрез, в нем палинологическим методом изучены отложения 21 разреза, среди которых только 3 вмещают образования среднего плейстоцена – шкловские и александрійские межледниковые. 2. Распределены разрезы в западной (бассейн Немана) и восточной (бассейн Днепра) частях региона. Отличительной особенностью обнажений Нижнинский Ров и Принеманский-1 является сохраненная геологическая летопись осадконакопления в палеоводоемах в разные временные интервалы среднего плейстоцена и значительно более длительная и более сложная история развития природы. 3. Обновлено сведения о данных палинологических исследований отложений в разрезах Нижнинский Ров, Принеманский-1, Рудаков Ров, имеющих статус памятников природы республиканского значения, составлена новая карта их местоположения среди прочих важных объектов. 4. Число памятников природы Беларуси будет постепенно увеличиваться за счет новых уникальных объектов наряду с обновлением палеонтологической характеристики ископаемых остатков из древних толщ, что влияет на решение вопросов стратиграфии и палеогеографии времени накопления отложений в плейстоценовых палеоводоемах и пополняет число разрезов единственной на Беларуси Палинологической Базы Данных.

Выводы. В отношении вышеописанных памятников природы среднего плейстоцена Беларуси должен сохраняться установленный Законом РБ «Об особо охраняемых природных территориях» (с. 35) органами системы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь особый режим их охраны и использования, поскольку в результате комплексного их исследования они имеют историческое, научное, эколого-просветительское значение, являющиеся неотъемлемой частью и важным компонентом природного ландшафта, и тем самым обеспечивают сохранность генофонда биологического разнообразия отдельной местности, страны и Земли. В целом – это памятники природы не только геологического прошлого, но в сравнении с состоянием природной среды современной эпохи развития человечества они являются и источниками прогнозирования ее изменения в будущем.

В пределах территории региона имеются также палинологически изученные уникальные разрезы по керну буровых скважин из погребенных ископаемых толщ и обнажений разного типа, не имеющие пока своего статуса памятников природы, но являются таковыми – Костеши – шкловское межледниковье, Новые Беличи – александрийское межледниковье; Пушкари, Ишкольд – александрийское и ишкольдское межледниковья; Красная Дуброва – беловежское межледниковье; Корчево – корчевское межледниковье и др. [5, 16, 17].

Список цитированных источников

1. Горецкий, Г. И. Аллювиальная летопись великого Пра-Днепра / М. : Наука, 1970. – 419 с.
2. Чердынцев, В. В. и др. Радиоуглеродные даты ГИН АН СССР (сообщ. 4) // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода, 1969. – № 36. – С. 173–193.
3. Махнач, Н. А. Этапы развития растительности Белоруссии в антропогене / Мн. : Наука и техника, 1971. – 212 с.
4. Еловичева, Я. К. Эволюция природной среды антропогена Беларуси (по палинологическим данным) / Мн. : Белсэнс, 2001. – 292 с.
5. Еловичева, Я. К. Палинология Беларуси (к 100-летию БГУ) / в 4 ч. – Мн. : БГУ, 2018. – 831 с. Монография деп. в БГУ 08.01.2019 г., № 000308012019. Режим доступа : <http://elib.bsu.by/handle/123456789/212051>.
6. Еловичева, Я. К. Шкловские (рославльские) межледниковые отложения Белоруссии и смежных территорий. – Мн. : Наука и техника, 1979. – 184 с.
7. Горецкий, Г. И. Нижнинский Ров (стратотипический разрез шкловского межледниковья Белоруссии) / Г. И. Горецкий, Б. Н. Гурский, Я. К. Еловичева, Ф. Ю. Величкевич, С. Г. Дромашко, В. И. Назаров, С. Ф. Зубович // Мн. : Наука и техника, 1987. – 273 с.
8. Шпунтенко, С. А. Комплексные рентгеновские и палинологические исследования озерно-болотных отложений разреза Нижнинский Ров / С. А. Шпунтенко, Я. К. Еловичева // Минералогия и геохимия кайнозойских отложений Белоруссии. – Мн. : Наука и техника, 1985. – С. 48–55.
9. Махнач, Н. А. Об ископаемой флоре и растительности Колодежного Рва / Н. А. Махнач, Т. В. Якубовская // Стратиграфия и палеогеография антропогена. – Мн. : Наука и техника, 1975. – С. 21–48.
10. Еловичева, Я. К. Новое в изучении древне-озерных межледниковых отложений в разрезе Колодежный Ров в Беларуси. (Ч. 1. Александрийский межледниковый этап развития Принеманского палеоводоема) // «Веснік БрДУ». Сер. 5. хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. – № 1/2014. – С. 63–76.
11. Еловичева, Я. К. Новое в изучении древне-озерных межледниковых отложений в разрезе Колодежный Ров на Беларуси (Ч. 2. Послеалександрийский этап развития приеманского палеоводоема) // «Веснік БрУ». Сер. 5. хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – № 2/2014. – С. 94–102.
12. Yakubovskaya, T. Alexandrian (Holsteinian) interglacial deposits at Kolodezhny Rov and their relationship with glacial sediments / T. Yakubovskaya, V. Zernitskaya, A. Dziudek // Excursion guide "Field Symposium on Quaternary

Geology and Geodynamics in Belarus" 20-25 May 2002, Grodno. – Minsk, 2002. – P. 28–35.

13. Еловичева, Я. К. «Колодежный Ров» – природное наследие Понеманья и памятник природы Беларуси / Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. Сборник научных статей / редколлегия В. С. Ивкович (отв. редактор) [и др.]. – Мн. : Белорусский Дом печати, 2020. – Вып. 15. – 312 с. – С. 61–88.
14. Зубаков, В. А. Методы палеомагнитных исследований горных пород / В. А. Зубаков, В. В. Кочегура // Л. : Недра, 1973.
15. Еловичева, Я. К. Новые разрезы александрийского межледниковья Белоруссии // Геология Белоруссии. – Мн. : Наука и техника, 1981. – С. 51–61.
16. Еловичева, Я. К. Новое о стратиграфии и палеогеографии среднего гляциоплейстоцена на территории Беларуси // Вучоныя запіскі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта ім. А. Пушкіна, 2016. – Т. 12. – Ч. 6. – С. 101–109.
17. Еловичева, Я. К. Географический центр Европы и природное наследие Подвинья // Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования // Сб. науч. статей Науч. отд. ГПУ "Березинский биосферный заповедник", вып. 14. – Мн. : БДП, 2019. – С. 70–88.

УДК 551.79.561(476)

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИ ИЗУЧЕННЫЕ РАЗРЕЗЫ ГОЛОЦЕНА И ВЕРХНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА БЕЛАРУСИ СТАТУСА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ ПРИРОДЫ

Я. К. Еловичева, Н. М. Писарчук

УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Беларусь,
yelovicheva@yandex.ru

Аннотация

В статье приведены данные о природных обнажениях и искусственных объектах горных пород голоцена и верхнего плейстоцена в статусе геологических памятников природы республиканского значения на территории Беларуси, отложения которых были исследованы палинологическим методом.

Ключевые слова: геологические разрезы, объекты, природное наследие, палинологический метод.

PALYNOLOGICALLY STUDIED SECTIONS OF BELARUS OF THE STATUS OF GEOLOGICAL MONUMENTS OF NATURE

Ya. K. Yelovicheva, N. M. Pisarchuk

Abstract

The article presents data on natural outcrops and artificial objects of Holocene and Upper Pleistocene rocks in the status of geological natural monuments of republican significance on the territory of Belarus, the deposits of which were studied by the palynological method.

Keywords: geological sections, objects, natural heritage, palynological method.

Введение. Территория Беларуси, подвергавшаяся за последние 800 тыс. лет воздействию Скандинавских ледниковых покровов, богата на уникальные природные объекты в виде геологических разрезов – выходящих на поверхность по берегам рек, озёр, склонам оврагов и возвышенностей естественных обнажений межледниковых и ледниковых толщ, а также искусственных (стенки карьеров, шахт, каналов, керн буровых скважин и др.). Вскрытые в них отложения исследуются учеными разными методами абсолютной (датирование пород) и относительной (палеонтологическими и непалеонтологическими) хронологии. Большое значение для изучения природы прошедших геологических периодов (климат, флора и фауна) имеют редкие и уникальные разрезы/обнажения горных пород с сохранившимися в них древними остатками растительных и животных организмов. Они имеют большую научную ценность и являются *геологическими памятниками природы*.

Материалы и методы. Наиболее важным из палеонтологических методов и широко развитым в регионе является палинологический, объектами исследования которого являются пыльца, споры и массулы растений, позволяющие установить, какой состав флоры и характер растительности были неотъемлемой частью и важным преобладающим компонентом природного ландшафта на исследуемой территории в разные периоды геологического прошлого.

Результаты и обсуждение. Значимым в изучении отложений геологических разрезов является установление наиболее полного состава флоры и фауны, археологии для подробной реконструкции природной среды прошлого на территории региона. Результаты исследования континентальных толщ контролируются ныне данными непрерывных океанических геохронологических шкал.

Число памятников природы Беларуси постепенно увеличивается за счет новых уникальных объектов наряду с обновлением палеонтологической характеристики ископаемых остатков из древних толщ, что влияет на решение вопросов стратиграфии и палеогеографии времени накопления отложений в плейстоценовых палеоводоемах и пополняет число разрезов единственной на Беларуси Палинологической Базы Данных.



Рисунок 1 – Местоположения геологических разрезов на территории Беларуси в статусе памятников природы Республиканского значения (составила Н. М. Писарчук)

Из 31 геологического памятника природы республиканского значения палинологическим методом изучены отложения в 8 разрезах голоцена и верхнего плейстоцена, которые кратко представлены ниже с обновленными данными (рисунок 1):

– «**Адров**» (Витебская обл., Оршанский р-н, 54°27' с.ш. и 30°25' в.д. – 18.03.2008) – на уступе I н.т. левобережья р. Адров, в 1 км ниже д. Заболотье, в 100 м от впадения её в Днепр, в 300 м к востоку от д. Новоселки, в 3 км на запад от г. Орши выявлена линза речных осадков мощностью 5 м, длиной 20 м из супеси, суглинка, торфа песка *поозерского позднеледниковья* и *голоценового межледниковья*. Межледниковая растительность отражает развитие лесной зоны с доминированием сосны, ели, березы в раннем голоцене; экзоты и редковстречаемые растения из *Larix*, *Betula nana type*, *Selaginella selaginoides*, *Niphar*. В ледниковой фауне преобладают холодолюбивые виды неглубоких водоемов и открытых мест тундровой зоны; богатые остатки ископаемых моллюсков (более 28 видов) и их возраст делает разрез одним из немногочисленных обнажений позднеледниковья и голоцена на востоке страны, которое точно датировано (С¹³– 12700 л.н., 13250, 13550, 14850 л.н. [1].

– «**Пески**» (Гродненская обл., Мостовский р-н, 53°29' с.ш., 24°30' в.д. – 1997 и 31.07.2006) – на низкой пойме левобережья р. Зельвянки, в 1,5 км от моста; в 250 м на юг от д. Пески, юго-восточная окраина д. Пески у бывшей мельницы, на высокой пойме правого берега р. Зельвянка, в 7,6 км на юго-восток от г. Мосты. В разрезе вскрываются речные отложения (песок с гравием, прослоями торфа, торф, песок иловатый, супесь, супесь оторфованная) мощностью до 5 м конца *поозерского оледенения* и *голоценового межледниковья* (от 10 до 2,5 тыс. л. н.). В них выявлены многочисленные остатки ископаемых растений (113 видов) и животных (млекопитающих, земноводных, моллюсков, рыб, насекомых), наиболее богатый состав которых приурочен к средней части обнажения (оптимум голоцена с теплым и влажным климатом – 8–5 тыс. л. н.), а остатки растений нижней и верхней частей разреза отображают развитие более умеренной флоры в раннем (5–10 тыс. л.н.) и позднем (последние 2,5 тыс. л.н.) голоцене. Экзотические и редковстречаемы растения из *aff. Eriocaulaceae*, *Ephedra distachya*, *Nymphaea alba*, *Selaginella selaginoides* [2].

– «**Кобеляки**» (ныне **Приднепровье**) (Витебская обл., Оршанский р-н, 54°34' с.ш., 30°29' в.д. – 18.03.2008) – обнажение лессов и ископаемой почвы мощностью ~5 м вблизи границы поозерского ледника, на правобережье р. Днепр, в 0,17 км к югу от д. Приднепровье, в 0,5 км от г. Орша; тянется вдоль западного склона оврага (длина ~200 м), выходящего своим устьем к центру д. Приднепровье. Разрез представлен суглинком моренным *сожского ледниковья*, супесью, лессовидными суглинком и супесью *поозерского позднеледниковья* и ископаемой почвой *голоценового межледниковья*. В лессовидных суглинках выявлен богатый для восточной Беларуси комплекс остатков флоры (пыльцы растений, спор мхов и папоротников; экзоты и редковстречаемые растения из *Betula sect. Nanae* и *Fruticosae*, *Dryas*) и фауны (плейстоценовые млекопитающие). В лессовидных осадках и ископаемой почве отражена геологическая история почти всего поозерского оледенения (от 70-80 до 10 тыс. л. н.) на востоке

страны в непосредственной близости от ледника в условиях сурового климата с холодными сухими ветрами и многолетней мерзлотой [1, 3-5].

– «**Пашино**» (Витебская обл., Оршанский р-н, 54°34' с.ш. 30°29' в.д. – 18.03.2008) – на левом берегу р. Днепр, на уступе I н.т., в 0,15 км к северо-востоку от д. Пашино; аллювиальная толща (песок и гравийно-галечные отложения) **поозерского позднеледниковья** богаты остатками ископаемой фауны (кости и зубы крупных и мелких млекопитающих 15 видов), которые жили около 10-15 тыс. л. н., когда в регионе началось таяние и разрушение поозерского ледника; климат был наиболее суровым, расширилась зона тундры. Среди остатков более 30 видов моллюсков преобладают водные представители временных мелководных протоков со слабым течением, обитавших в максимально холодный интервал поозерского оледенения. Выявлена единичная пыльца аркто-бореальных видов [6].

– «**Комаришки**» (Гродненская обл., Островецкий р-н, 54.880683N, 25.949738E – 31.07.2006) – на правом берегу р. Страча (приток Вилии), в 0,45 км на юг от д. Большая Страча, в 0,3 км на юг от автодороги Полоцк-Глубокое, в 5 км на запад от г.п. Свирь, к югу от автомагистрали Свирь–Слободка. Единственное известное на территории Беларуси местонахождение **межморенных** ленточных глин с остатками ископаемых арктических (приледниковых) растений, которые залегают под толщей моренных отложений двинской стадии **поозерского оледенения** в обрыве высотой ~4 м, длиной по изгибу реки 55 м, шириной 10 м; возраст по ^{14}C – 11230±250 LU-158; 11430±460 LU-75A [6].

– «**Морино**» (Гродненская обл., Ивьевский р-н, 53°52'00.1"N и 25°42'00.0"E – 31.07.2006) – в крутом обрыве правобережья р. Неман, в 3 км на юго-запад от окраины д. Морино вскрыты старичные отложения высокой поймы мощностью в 1 м (песок, торф, супесь торфянистая, песок) **поозерского позднеледниковья** (стадия дриас – разреженные сосново-березовые леса с хорошо развитыми травяными ассоциациями открытых мест, экзоты из *Selaginella selaginoides*) и начала **голоценового межледниковья** (сосновые с березой леса сменились сосновыми с развитым травяным ярусом, затем сосновыми с елью); накопилась толща ~10,4-8 тыс. л. н. (^{14}C 10660±130 л. МИГ-26, 9970±110 л. Tln-136) [7, 8].

– «**Поповцы**» (Минская обл., Вилейский р-н, 54.576962N, 26.704780E – 31.07.2007) – на правом берегу р. Нарочь, в 1 км на северо-запад от д. Поповцы, в 2 км на северо-запад от д. Нарочь. Озерно-ледниковые отложения изучаются с 1955 г. и выявлены на 5-метровом уступе террасы р. Нарочь, протянулись вдоль берега реки на 60 м при ширине 50 м. Нижний горизонт толщи сложен **поозерским** перигляциальным аллювием (коричнево-серая гумусированная супесь на гл. 2,5-6,2 м) с остатками ископаемых растений (пыльца, споры мхов, лишайники, кустарники, травы) преимущественно холодо- и сухолюбивых видов (*Betula nana*, *Alnaster*), криофильная флора состоит из полыни, злаков, вереска с участием маревых и осоковых; преобладали разреженные березово-хвойные леса. Осадки накопились ~20–17 тыс. л. н. перед фронтом льда максимальной оршанской стадии наступания поозерского ледника. Верхний горизонт толщи – из позднепоозерских озерно-ледниковых глин и песков Вилейского

приледникового подпрудного озера, спущенного Вилией после отступления ледника [9].

– «**Студенец**» (Стюденик) (Минская обл., Мядельский р-н, 54°49' с.ш. и 26°40' в.д. – 19.03.2007) – расположен на южном берегу оз. Нарочь в урочищах Бор и Студенец, к северо-западу от д. Близники. Разрез представляют морена, песок озерный, слои намывного торфа, эоловые слои, почва с гравием, песок. Слои намывного торфа с остатками хвои знаменуются спектрами перигляциального типа (травы – 89%, *Pinus* – 94%, *Betula* – 5%, *Picea* – 0,5%, *Alnus* – 0,5%, *Salix* – 1%) и являются образованиями *межстадиала аллерёд* (С¹⁴ 10810±100 л. ТА-135) *поозерского позднеледниковья*. Изучены остатки макрофлоры [10-11].

– «**Лоев**» (Гомельская обл., Лоевский р-н, 51°56' с.ш. и 30°45' в.д. – 1963 г. и 31.07.2006) – в парковой зоне г. Лоев, в обрыве правого берега р. Днепр, в 300 м ниже устья р. Сож. Обнажение высотой 18-20 м обнаружено в 20-е гг. XX в. Ископаемая толща мощностью до 7 м расположена в котлованоподобном понижении на серовато-бурой морене *сожского оледенения* и суглинке *сожского позднеледниковья* (125-110 тыс. л. н.) с *лоевским межстадиалом* (ископаемая флора знаменует распространение на юго-востоке региона тёмно-хвойной тайги с сибирской елью, климат был схож с современным в северной тайге Сибири); перекрыта слоями супеси, песка, торфа, гиттии, глины с торфом *муравинского межледниковья* (110–70-80 тыс. л. н. – объединяет *раннемежледниковье*, 3 *климатических оптимума* с 2-мя *межоптимальными похолоданиями*, *позднемежледниковье*) с находками на гл. 5-7 м более 110 видов остатков растений (пыльца, споры, семена и плоды), выше залегают суглинки *поозерского раннеледниковья* и *поозерского ледниковья* (70-80–10 тыс. л. н.) и *голоцена* (последние 10 тыс. лет). Климат муравинского межледниковья был наиболее тёплый и влажный в раннем оптимуме, когда развитие имели многоярусные широколиственные леса с ведущей ролью дуба и вяза, затем липы и впоследствии граба, наряду с ольшаниками и орешником в подлеске; свойственна малая роль ели в древесных ценозах, сокращение количества вымерших позднеевропейских видов. Экзоты и редковстречаемые растения муравинского межледниковья из *Larix*, *Abies*, *Hedera*, *Drosera*, *Hippophae*, *Ephedra*, *Nymphaea*, *Osmunda*. Выявлена также богатая семенная и диатомовая флора палеоводоема и его окрестностей, фауна из мамонта, шерстистого носорога, медведя, волка и других животных [12-13].

– «**Дорошевичи**» (Гомельская обл., Петриковский р-н, 52°07' с.ш., 28°16' в.д. – 31.07.2006) – обнажение примыкает к левому обрывистому берегу р. Припять, в 0,1 км на юго-восток от д. Лясковичи, на востоке граничит с туристическим комплексом "Дорошевичи". Вкрыта толща супеси, песка, торфа, гиттии (мощностью до 7 м) *муравинского межледниковья* (*раннемежледниковье*, *ранний климатический оптимум*) и *поозерского раннеледниковья*. Присутствуют экзоты и редковстречаемые растения из *Abies*, *Larix*, *Betula humilis*, *Nymphaea alba* [12, 14-15].

– «**Зборово**» (**Зборов**) (Гомельская обл., Рогачевский р-н, 53.1008N, 30.144E – 27.12.1963 и 31.07.2006) – находится в 2,5 км восточнее д. Зборов, в уступе II

н. т. на левом берегу р. Днепр. Осадочные породы мощностью 5 м обнажены на протяжении 20 м и углублены скважиной на 1 м; толща включает слои *сожского ледниковья* (супесь моренная) и *сожского позднеледниковья* (суглинок, гиттия, супесь), линзу озерно-болотных осадков *муравинского межледниковья* мощностью до 3 м (переслаивание супеси, гиттии, ила, песка) (*раннемежледниковье, два климатических оптимума, поозерское раннеледниковье* и *поозерское ледниковье* [6]).

– «Тимошковици» (ныне Барановичи); Гродненская обл., Кореличский р-н, 53°46' с.ш. и 26°28' в.д. – 31.07.2006) – на юго-западной окраине д. Тимошковици, в 1,5 км на восток от д. Барановичи, в 0,4 км на юго-восток от хут. Тимошковици, у автодороги Сенницы-Тимошковици. Разрез обнаружен в начале XX в. А. Б. Миссуной, первые исследования семенной флоры провел В. Н. Сукачев, позднее его изучали польские и белорусские ученые, а в 1980-х гг. наши соотечественники выполнили детальные комплексные исследования по уточнению условий залегания межледниковой линзы и выявили два типа ископаемой макрофлоры: межледниковый и межстадиальный.

В средней части крутого и глубокого оврага (длина 500 м, ширина 200 м), прорезающего склон к долине р. Невды с родниковым ручьем, обнажаются древние отложения мощностью около 6 м и вскрыта буровой скважиной до гл. 13 м погребенная толща, что делает данный разрез наиболее полным в отношении длительности осадконакопления в палеоводоеме и богатых находок остатков флоры (пыльца, растительные остатки) и фауны (раковины моллюсков, остракоды). Выделены слои *сожского оледенения* (суглинок моренный) и *сожского позднеледниковья с лоевским межстадиалом* (суглинок, супесь, торф, песок), *муравинского межледниковья* (песок, супесь торфянистая, мергель, мергель суглинистый, торф, супесь, песок *раннемежледниковья, 2-х оптимумов* и *межоптимального похолодания*), *поозерского раннеледниковья* (суглинок, ископаемая почва, песок с гравием и галькой, лессовидный суглинок).

Наиболее богатая семенная флора лесного типа выявлена из *раннего оптимума* муравинского межледниковья: были распространены многоярусные широколиственные леса – дубово-вязовые с орешником, затем липовые с грабом, ольхой и орешником, позднее – грабовые на фоне развития хвойных пород. Богат и разнообразен состав межледниковых травянистых растений из числа водных – *Salvinia natans, Najas marina, Nuphar lutea, Nymphaea alba, Ceratophyllum demersum, Stratiotes aloides, Aldrovanda vesiculosa* и *Brasenia holsatica*. Экзотические и редковстречаемые растения из *Larix, Abies, Ephedra, Drosera rotundifolia, Nymphaea, Selaginella selaginoides*. Разрез представляет одну из самых богатых муравинских флор и широколиственных лесов на территории Беларуси, знаменуя муравинское межледниковье как наиболее теплое среди прочих межледниковых эпох в плейстоцене [16].

– «Княжеводцы» (Гродненская обл., Мостовский р-н, 53°27' с.ш. и 24°17' в.д. – 31.07.2006) – в 0,6 км на юг от д. Княжеводцы, в 1,5 км на восток от моста в д. Лунно и в 35 м на восток от навигационного берегового знака. В ископаемой толще длиной 200 м и ширина 100 м вскрыты супесь моренная, гиттия, торф опесчаненный, торф, супесь гумусированная, песок *сожского оледенения* и

муравинского межледниковья (раннемежледниковье и ранний климатический оптимум). Торф и гумусированная супесь богаты остатками ископаемых растений (более 130 видов) и свидетельствуют о существовании в то время (110–70-80 тыс. л. н.) теплого и влажного климата. Экзотические и редковстречаемые растения из *Abies*, *Ephedra*, *Nymphaea*. Это один из важнейших опорных разрезов и единственное в Беларуси обнажение межледниковых аллювиальных отложений муравинского межледниковья [13].

– «**Ров Яна и Цецилии**» (**Самострельники**) (Гродненская, Мостовский, 53°30' с.ш. и 24°11' в.д. – 1963 и 31.07.2006) – погребенный торфяник выявлен в 0,5 км на северо-восток от левого берега р. Неман, в устье обширного оврага у западной окраины д. **Богатыревичи (Самострельники)**, в 3 км на юго-восток от д. Глядовичи, в 30 км выше г. Гродно. Дно этой эрозионной ложбины (длиной 700 м, шириной 100 м, глубиной до 13 м) покрыто делювиально-пролювиальным песком, супесью и суглинком, крутые склоны оврага сложены моренными, водноледниковыми и элювиально-делювиальными отложениями. Залегающая на них толща древних отложений изучается более 100 лет, когда в 1878 г. исследователь Антон Гедройц нашел межледниковый торфяник, который образовался от 110 до 70-80 тыс. л. н. Его последующее изучение велось польскими и белорусскими учеными. Новейшие исследования ископаемых остатков пыльцы, спор, плодов, семян свидетельствуют о накоплении во рву образований *сожского ледниковья* (супесь моренная) и *позднеледниковья* (гиттия), *муравинского межледниковья* (гиттия, торф, песок, супесь мощностью более 3 м – раннемежледниковье, два оптимума и межоптимальное похолодание, позднемежледниковье с формациями многоярусных широколиственных лесов: сосново-березовые с елью, дубово-вязовые с ольхой и подлеском из лещины, липовые с ольшаниками и лещиной, грабовые, елово-грабовые, сосновые, хвойно-широколиственные с ольхой и орешником) и *поозерского раннеледниковья* (супесь пылеватая, алевролит, суглинок – разреженные сосновые и березовые леса) под 7-метровой толщей песка с галькой, ила и супеси. Экзотические и редковстречаемые растения из *Abies*, *Larix*, *Trapa natans*, *Brasenia purpurea*, *Najas*, *Nymphaea alba*, *Nuphar luteum*, *Salvinia natans*.

В ископаемом торфянике оврага выявлена исключительно богатая и разнообразная древняя семенная флора из 148 видов межледниковых растений, из которых 5 оказались вымершими на Земле, 7 – вымерли в Европе в конце межледниковья и уцелели лишь в Юго-Восточной Азии и Северной Америке, 9 – не растут ныне в Беларуси, а 14 – стали редковстречаемыми, занесены в “Красную книгу БССР” и находятся под охраной. Указанное придает обнажению огромное научное значение и этнографическую ценность в виде могилы Яна и Цецилии, которая воспета Элизой Ожешко в романе “Над Неманом” [13, 17, 18].

– «**Мурова**» (**Мурава**) (Минская обл., Борисовский / Березинский р-н, 54.0433N, 28.8377E – 27.12.63 и 31.07.2007) – в обрыве правого коренного и крутого берега II н. т. р. Березина, между д. Мурава (Березинский р-н) и д. Побережье (Борисовский р-н), в 0,75 км на северо-восток от д. Мурова, в верхней части главного оврага Чертов куст. Обнажение Мурова представляет собой

выход на поверхность межледниковых слоев муравинского горизонта, в т. ч. и погребенного торфяника, который был обнаружен и впервые описан в 1928 г. ученым Г. Ф. Мирчинком в главном овраге “Чертов Куст”, а палинологически межледниковые отложения были изучены В. С. Доктуровским, Н. А. Махнач [19-20], И. Е. Красавиной-Савченко [21], Я. К. Еловичевой [22-26]. Данный разрез также исследовали Ф. Н. Денисюк, М. М. Цапенко, Л. Н. Вознячук [19], карпологи П. И. Дорофеев, Ф. Ю. Величкевич, Г. И. Литвинюк.

Линза озерно-болотных образований Муравинского палеоводоема (мощность ~7 м) включает слои **сожского позднеледниковья** (пески с гравием, глина; травяные ассоциации открытых мест наряду с разреженными сосновыми лесами); **муравинского межледниковья** (раннемежледниковье – песок озерный, гиттия, развиты сосново-березовые формации; *три климатических оптимума* – песок гумусированный, торф, мергель – многоярусные широколиственные леса: дубовые с ольхой и орешником, липовые с ольшаниками и орешником, грабовые с орешником в ранний оптимум, а хвойно-широколиственные в средний и поздний) и разделяющие их *два межоптимальных похолодания* – торф, сосновые и сосново-березовые леса), *позднемежледниковье* – торф, тонкие гумусированные пески и развитие березово-сосновых лесов с елью); **поозерское раннеледниковье** (торф, грубый песок с гравием – сосновые с лиственницей разреженные участки, березовое редколесье, травяные ассоциации открытых мест).

Экзотические и редковстречаемые растения межледниковья представлены *Larix, Abies, Tilia platyphyllos, Nuphar luteum, Nymphaea alba, N. candida, Osmunda cinnamomea, Huppophaeë rhamnoides, Ephedra distachya*. Аркто-бореальные экзоты сожского позднеледниковья и поозерского раннеледниковья слагались (*Betula sect. Nanae, Alnaster, Selaginella selaginoides*), присутствие же некоторых из них в межледниковых осадках следует рассматривать как реликтовые формы предшествовавшего ледникового времени.

Возрастные границы муравинского межледниковья (110–70-80 тыс. лет назад) подтверждаются уран-ториевой ($^{230}\text{Th}/\text{U}$) датировкой 4-х образцов из торфа на гл. 4,57-4,77 м (фазы граба и ели): в 91 ± 6 (LU-5210U) тыс. л. н. [27] и $102,6\pm 11,9$ (LU-5210U) тыс. л. н. [28], а также термолюминесцентной датой в 105 ± 10 (TLM-437, МГУ) тыс. л. н. из подстилающих нижний слой торфа муравинских межледниковых песков из расч. Побережье [28]. Макроостатки 121 вида деревьев, кустарников и трав воспроизводят богатую лесную флору из широколиственных пород и травяной бразениевый комплекс, что сближает данную флору с наиболее богатыми муравинскими флорами бассейна Немана. Разрез признан стратотипическим для муравинского межледниковья Беларуси.

– «Заславль» (Минская обл., Минский р-н, $54^{\circ}00'41''$ с.ш., $27^{\circ}16'10''$ в.д. – 27.05.85 и 18.03.2008) – в г. Заславль, в 0,1 км на север от автодороги Заславль–Дорошевичи, в 0,5-0,7 км южнее д. Хмелевки. Обнажение обнаружено в 1979 г. в песчано-гравийном карьере, где под линзой торфа вскрыта зеленовато-серая, бурая, сизовато-серая, местами грубая супесь моренная **сожского оледенения** и флювиогляциальные образования **сожского позднеледниковья** (125-110 тыс. л. н.). Возраст супесчаных отложений озёрного типа, образующих переход между

сожским позднеледниковьем и муравинским межледниковьем, оказался равным 128000 ± 11000 (ТЛМ-429).

В понижении рельефа (абс. отм. 235–240 м) на гл. 12–14 м выявлены линзы органогенных отложений (торф бурый до чёрного цвета, плохо разложившийся, плотный, листоватый, мощностью до 1 м с обломками древесины и семенами ископаемых растений, а также супесь гумусированная, диатомит, суглинок и песок озёрный) **муравинского межледниковья** (110–70-80 тыс. л. н. – раннемежледниковье со светло-хвойными лесами, ранний климатический оптимум с развитием липовых с орешником, ольшаников, затем грабовых лесов; позднемежледниковье с сосново-еловыми формациями). Озёрно-болотные отложения перекрыты 4-метровой толщиной желтых разнотельных флювиогляциальных песков, супесей и суглинков, с мерзлотными деформациями вследствие распространения многолетней мерзлоты в раннеледниковое время под влиянием **поозерского оледенения** (70-80–10 тыс. л. н. – развитие травяных открытых пространств и разреженных светло-хвойных лесов с елью и березой, в т. ч. кустарниковой). Имеется еще пять датировок этой толщи – нижняя в 70000 ± 5000 лет (ТЛМ-430), а вышележащие оказались более древними – до 130000 ± 10000 (ТЛМ-433), что связано с присутствием возрастных инверсий, скорее всего, из-за мерзлотных деформаций отложений.

Выше этих образований с поверхности плащеобразно залегают лессовидные супеси и суглинки мощностью до 1,5–2,0 м с признаками эолово-делювиального переотложения, которые начали накапливаться в окрестностях Заславля 24000 ± 2000 л. н. – во время заключительной (максимальной) стадии **поозерского оледенения**. Выявленные в обнажении экзоты и редковстречаемые растения слагали *Larix*, *Abies*, *Tilia platyphyllos*, *Salvinia natans*, *Osmunda cinnamomea*, *Trapa natans*, *Betula nana*, *B. humilis*. Семенная флора разреза содержит около 60 таксонов и отражает часть оптимума и заключительные фазы муравинского межледниковья, а также фрагменты поозерского времени, отличаясь ее скудностью и маловыразительностью [29-30].

– «**Чериков**» (Могилевская обл, Чериковский р-н, 54 36 с.ш. и 31 27 в.д. – 31.07.2006) – обнажение длиной 300 м расположено на юго-западной окраине г.Чериков, в термокарстовой западине, вблизи от старых карьеров кирпичного завода, в стенках правого борта правого откоса большого оврага, открывающегося в долину р. Сож и прорезающего ее верхнюю надпойменную террасу, у дороги на въезде в д. Мирогощь.

Озерно-болотные отложения (мощностью до 10 м) исследовались с 1934 г, но более детально и комплексно с 70-х гг. XX в. Разрез вскрывает слои песка, супеси с растительными остатками, гиттии, мергеля, суглинка **муравинского межледниковья** (ранний оптимум с многоярусными широколиственными лесами, позднемежледниковье с развитием еловых и сосновых формаций – 110–70-80 тыс. л. н.), глины, суглинка, мергеля, супеси, торфа, песка, гиттии, торфа, супеси торфянистой, суглинка **поозерского раннеледниковья** и **поозерского ледниковья** (березово-сосновые и березовые разреженные леса нередко с лиственницей и богатым травяным ярусом открытых мест) с межстадиалами (березовые редколесья наряду с богатым травяным покровом открытых мест,

аркто-бореальными растениями) (125–110 тыс. лет). Выявлена богатая семенная флора из 85 видов деревьев и травянистых ассоциаций. Обнажение значимо для изучения стратиграфии верхнего плейстоцена востока Беларуси. [31-33].

– «**Винцентово**» (Минская обл., Вилейский р-н, 54.364942N, 27.254627E – 31.07.2007) – открыто в 2 км на запад от д. Козлы (в 28 км на юго-восток от Вилейки), в 6 км на юго-запад от д. Илья, на южной стенке большого рекультивированного карьера на водораздельном участке конечно-моренной гряды Минской возвышенности. Уникальное обнажение длиной 15–20 м на высоте ~25 м от дна карьера вскрывает линзу *лоевских интэрстадиальных* (разнозернистые и разноцветные пески *сомжского позднеледникового*) и *муравинских раннемежледниковых* озерных отложений мощностью 0,4-7,5 м (суглинки и гумусированные пески – богаты на остатки ископаемых растений 14 видов: из древесных присутствуют сосна, ива, можжевельник, из трав – разнообразие водных и водно-болотных растений – рдеста плавающего, лилии белой, кувшинки желтой, хвостника, вахты трёхлистной, плюща. Строение обнажения Винцентово подтверждает термокарстовое происхождение западины с накоплением древних озерных отложений ~15–10 тыс. л. н. во время отступления поозерского ледника, а в максимум своего распространения (~20–15 тыс. лет назад) поозерский ледник не перекрывал эту территорию [6].

Заключение. 1. Как видно из изложенного научного материала, на территории Беларуси к памятникам природы отнесен пока 31 геологический разрез, из них отложения голоценового межледниковья и верхнего плейстоцена изучены палинологическим методом всего лишь в 8 разрезах. 2. Разрезы верхнего плейстоцена и голоценового межледниковья распределены в разных частях территории региона, в пределах бассейнов Немана, Вилии, верховье Днепра. 3. Обновлено сведения о данных палинологических исследований, приведенных выше обнажений со статусом памятников природы республиканского значения, составлена новая карта их местоположения.

Выводы. В отношении вышеописанных памятников природы Беларуси должен сохраняться установленный Законом РБ «Об особо охраняемых природных территориях» (с. 35) органами системы Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь особый режим их охраны и использования, поскольку они имеют историческое, научное, эколого-просветительское значение, являются неотъемлемой частью и важным компонентом природного ландшафта, обеспечивают сохранность генофонда биологического разнообразия отдельной местности, страны и Земли. В целом – это памятники природы геологического прошлого, современной эпохи развития человечества и источники прогнозирования изменения природной среды и нынешней цивилизации в будущем.

В пределах территории региона имеются также палинологически изученные уникальные разрезы по керну буровых скважин из погребенных ископаемых толщ и обнажений разного типа, не имеющие пока своего статуса памятников природы, но являются таковыми – это Домжерицы, Шо (Географический Центр Европы), Нарочь, Дривяты, Новято, Олтуш – голоценовое межледниковье; Уручье, Румловка, Понемунь – муравинское межледниковье [32-34].

Список цитированных источников

1. Еловичева, Я. К. Погребенные почвы позднеледниковья и голоцена Беларуси / Мн. : БГУ, 2008. – 300 с. – Деп. БелИСА, 2008.
2. Іваноў, Д. Л. Асаблівасці развіцця галацэнавых біяцэнозаў далін рэк Зяльвянкі і Свіслачы / Д. Л. Іваноў, Я. К. Яловічава // Весці БДПУ, № 1(11), 1977. – С. 82–87.
3. Санько, А. Ф. Новый разрез лессов с погребенными почвами на северо-востоке Беларуси / А. Ф. Санько, Я. К. Еловичева и др. // Геологические исследования земной коры Белоруссии / Мн. :Наука и техника, 1980. – С. 82–86.
4. Еловичева, Я. К. Эволюция природной среды антропогена Беларуси / Мн. : Белсэнс, 2001. – 292 с.
5. Еловичева, Я. К. Палинология Беларуси (к 100-летию БГУ) / в 4 ч. – Мн. : БГУ, 2018. – 831 с. – Монография деп. в БГУ 08.01.2019 г., № 000308012019. Режим доступа : <http://elib.bsu.by/handle/123456789/212051>.
6. Палинологическая База Данных Беларуси (ПБД Беларуси) / Электронный вариант фонда – 1300 с. / Я. К. Еловичева, А. Г. Леонова, О. В. Таборовец // Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия: Тезисы IX Всероссийской палинологической конференции 13-17 сентября 1999 г., Москва. – М. : ИГиРГИ, 1999. – С. 102–103.
7. Вознячук, Л. Н. Морфология, строение и развитие долины Немана в неоплейстоцене и голоцене / Л. Н. Вознячук, М. А. Вальчик // Мн. : Наука и техника, 1978. – 213 с.
8. Каліцкі, Т. Галацэнавыя фазы акумуляцый поймавых фацый у беларускіх далінах // Праблемы палеагеаграфіі позняга плейстацэну і галацэну: Тэзісы дакладаў Беларуска-Польскага семінара, Гродна, 2000 г. – Мн., 2000. – С. 38–41.
9. Махнач, Н. А. Этапы развития растительности Белоруссии в антропогене / Мн. : Наука и техника, 1971. – 212 с.
10. Вознячук, Л. Н. Находка аллередских отложений на побережье оз. Нарочь и некоторые особенности истории его развития в поздне- и послеледниковое время / Л. Н. Вознячук, Я. Н. Пуннинг // Материалы II симпозиума по истории озёр северо-запада СССР. – Мн. : БГУ, 1967. – С. 35–38.
11. Komarovskiy, M. E. Students outcrop / M. E. Komarovskiy, G. Y. Litvinjuk // Quaternary deposits and neotectonics in the area of pleistocene glaciations: excursions guide book. – Мн. : BSU, 1997. – P. 35–36.
12. Цапенко, М. М. Антропогеновые отложения Белоруссии / М. М. Цапенко, Н. А. Махнач // Мн. : 1959. – 223 с.
13. Shalaboda, V. Characteristic features of Muravian (Eemian) pollen succession from various regions of Belarus // Acta Palaeobot., 41(1), 2001. – P. 27–41.
14. Ільін, Я. А. Муравінскія міжледавіковыя адклады на р. Прыпяці каля в. Дарашэвічы / Я. А. Ільін, Э. А. Крутоус // Антрапаген Беларусі. – Мн., 1971. – С. 184–194.
15. Yelovicheva, Ya. Sedimentation conditionals during the Murava (Eemian) interglacial in Belarus / Ya. Yelovicheva, Ya. Anoshko // The Eemian. Local sequences, global perspectives. Abstracts of INQUA – SEQS Symposium, Kerkrade, September, 1998. – P. 94.

16. Еловичева, Я. К. Тимошковици – особо охраняемый геологический объект на территории Беларуси // Сборник статей "Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования" – Минск : Белорусский Дом печати, 2021. – Вып. 16. "Березинский биосферный заповедник", Домжерицы. – С. 41–55.
17. Litviniuk, G. Murava (Eemian) and Poozerian (Weichselian) sequence at Bogatyrevichi / G. Litviniuk, Ya. Yelovicheva, J. Pavlovskaya, A. Karabanov // Excursion guide 'Field symposium on Quaternary Geology and Geodinamics in Belarus', May 20-25th 2002, Grodno. – Minsk, IGS NASB, 2002. – P. 14–19.
18. Санько, А. Ф. Эволюция водоемов Верхне-Неманской низины в позднем плейстоцене на примере разреза Богатыревичи / А. Ф. Санько, Я. К. Еловичева // Теоретические и прикладные проблемы современной лимнологии: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, Минск, 20-24 октября 2003 г. – Мн. : БГУ, 2003. – С. 172–176.
19. Вознячук, Л. Н. Межледниковые образования у д. Мурава (Белоруссия) и некоторые вопросы стратиграфии четвертичных отложений Русской равнины / Л. Н. Вознячук, Н. А. Махнач // Изв. АН БССР. – 1954. – № 1. – С. 145–175.
20. Цапенко, М. М. К стратиграфии антропогеновой толщи в долине Березины / М. М. Цапенко, Н. А. Махнач // Палеонтология и стратиграфия БССР, вып. V. – Минск, 1966. – С. 298–327.
21. Вальчик, М. А. Опорный разрез муравинско-нижневалдайской аллювиальной толщи в долине р. Березины / М. А. Вальчик, В. М. Феденя, И. Е. Красавина // Доклады АН БССР, 1989. – Т. 33. – № 7. – С. 649–652.
22. Еловичева, Я. К. Новые палинологические и радиометрические данные об отложениях стратотипического разреза Мурава (Беларусь) // Палинология: теория и практика: Материалы XI Всероссийской палинологической конференции, 27 сентября–1 октября 2005 г., – М. : Палеонтологический Ин-т РАН, 2005. – С. 79–80.
23. Еловичева, Я. К. Новые данные по стратотипу муравинского межледниковья Беларуси / Я. К. Еловичева, А. Ф. Санько // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геоэкологии: Материалы Международной научной конференции, 1-3 июня 2005 г., Минск, Беларусь. – Мн. : ИГиГ НАНБ, 2005. – Т. 2. – С. 240–242.
24. Еловичева, Я. К. Мурава – стратотипический разрез муравинского межледниковья и памятник природы Беларуси / Я. К. Еловичева, Н. М. Писарчук // Региональная физическая география в новом столетии. – Мн. : БГУ, 2006. – С. 140–153. Монография деп. БелИСА 22.12.2006 г., № Д-200682.
25. Еловичева, Я. К. Экзотические и редковстречаемые растения муравинского межледниковья Беларуси / Я. К. Еловичева, Н. М. Писарчук // Региональная физическая география в новом столетии. Вып. 3. – Мн. : БГУ, 2008. – С. 288–313. Сборник деп. БелИСА 25.11.2008 г., № Д-200837.
26. Еловичева, Я. К. Стратиграфия и объем муравинского межледниковья на территории Беларуси / Я. К. Еловичева, Н. М. Писарчук // Сборник международных научных мероприятий географического факультета БрГУ им. А.С. Пушкина. – Брест : БрГУ, 2015. – С. 12–16.

27. Sanko, A. F. The first U-Th dating of the Muravian Interglacial deposits in Belarus / A. F. Sanko, Kh. A. Arslanov, Ya. K. Elovicheva, F. Yu. Velichkevich, V. Yu. Kuznetsov, F. E. Maksimov, S. B. Chernov, N. G. Baranova, Yu. V. Kukharchyk, I. E. Savchenko // Book of Abstracts of the 8th International Conference "Methods of Absolute Chronology", 17-19 May 2004, Ustroń, Poland. – Gliwice, 2004. – P. 132–133.
28. Санько, А. Ф. Абсолютное датирование отложений верхнего плейстоцена Беларуси / А. Ф. Санько, М. Фрехен, Х. А. Арсланов, Ф. Ю. Величкевич, Я. К. Еловичева, В. Ю. Кузнецов, Ф. Е. Максимов, С. Б. Чернов // Плейстоцен Беларуси и сопредельных территорий: Материалы Международной научной конференции 29.10.2004 г., Минск. – Мн. : ИГН НАНБ, 2004. – С. 59.
29. Санько, А. Ф. Поздний плейстоцен в окрестностях г. Минска (путеводитель экскурсии). Разрез Заславль / А. Ф. Санько, А. К. Карабанов, Я. К. Еловичева, Г. И. Литвинюк // Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых: Материалы Международной научной конференции 23-24.05.2017 г., Минск, БГУ. – Мн. : БГУ, 2017. – С. 143–148.
30. Еловичева, Я. К. Заславль – опорный разрез муравинского межледниковья Беларуси / Я. К. Еловичева, Е. Н. Дрозд // Мн. : БГУ, 2005. – 82 с. Монография деп. БелИСА 24.08.2005 г., № Д-200558.
31. Еловичева, Я. К. Разрез муравинских межледниковых отложений у Черикова // Вопросы геологии, геохимии и геофизики земной коры Белоруссии // Мн. : Наука и техника, 1975. – С. 133–137.
32. Еловичева, Я. К. Эволюция природной среды антропогена Беларуси (по палинологическим данным) / Мн. : Белсэнс, 2001. – 292 с.
33. Еловичева, Я. К. Палинология Беларуси (к 100-летию БГУ) / в 4 ч. – Мн. : БГУ, 2018. – 831 с. Монография деп. в БГУ 08.01.2019 г., № 000308012019. Режим доступа : <http://elib.bsu.by/handle/123456789/212051>.
34. Еловичева, Я. К. Географический центр Европы и природное наследие Подвинья // Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования // Сб. науч. статей Науч. отд. ГПУ "Березинский биосферный заповедник", вып. 14. – Мн. : БДП, 2019. – С. 70–88.

УДК 911+574+551.5+551.59(476)

ВЛИЯНИЕ ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНУЮ СИТУАЦИЮ НА ДОРОГАХ МИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Д. Л. Иванов, Р. В. Парахневич

УО «Белорусский государственный университет», Минск, Беларусь,
geoivanov@mail.ru

Аннотация

Рассматривается динамика и территориальное распределение опасных метеоявлений по Минской области за период 1990 – 2020 гг. Анализируется дорожно-транспортная ситуация, количество и территориальное распределение

ДТП на дорогах области, обусловленное опасными гидрометеорологическими явлениями.

Ключевые слова: климат, опасные явления, аварийность, ДТП, ДТС.

INFLUENCE OF DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL PHENOMENA ON THE ROAD TRAFFIC SITUATION AND ACCIDENT RATE ON THE ROADS OF THE MINSK REGION

D. L. Ivanov, R. V. Parakhnevich

Abstract

The dynamics and territorial distribution of dangerous meteorological phenomena in the Minsk region for the period 1990 – 2020 are considered. The article analyzes the road traffic situation, the number and territorial distribution of accidents on the roads of the region due to dangerous hydrometeorological phenomena are analyzed.

Keywords: climate, dangerous phenomena, traffic accidents, traffic situation

Введение. Объектом исследования являются опасные гидрометеорологические явления. Предмет исследования – влияние опасных гидрометеорологических явлений на дорожно-транспортную ситуацию в Минской области.

В Беларуси опасные метеорологические явления (ОМЯ) занимают ведущее положение в структуре экономического ущерба, обусловленного природными бедствиями. На их долю приходится примерно 60% от его общей величины ущерба [8]. По оценкам экспертов Всемирного банка ежегодный ущерб от ОГМЯ в Республике Беларусь составляет более 90 млн. долларов [3].

Актуальность работы определяется стремительным увеличением количества автотранспорта в стране, что неизбежно ведет к увеличению ДТП. В значительной степени дорожно-транспортная ситуация (ДТС) на дорогах зависит от погодных условий. Поэтому изучение ОГЯ и выявление их корреляции с ДТП представляется актуальным, особенно в условиях быстро изменяющегося климата. Изучение этих процессов позволит прогнозировать ДТС на дорогах при неблагоприятных погодных условиях, а учет погодоопасных условий позволит снизить количество ДТП на дорогах и заранее предотвратить аварийные ситуации.

На территории Беларуси ОМЯ изучены достаточно разносторонне. Рассмотрению вопросов интенсивности, пространственного распределения и временной динамики ОМЯ посвящен ряд научных статей, отдельных разделов монографий по изучению изменений климата в РБ и специальных монографий В. Ф. Логинова, И. Н. Шпоки А. А. Волчека [13-18], М. Г. Герменчук, В. И. Мельника [6, 19] и ряда других исследователей.

Аналитические обзоры и статистические материалы по ОМЯ представлены в ежегодных технических обзорах климатических особенностей и ОМЯ на территории РБ в рамках Государственного климатического кадастра, справочниках по климату и метеорологическим ежемесячникам [20-23, 27]. Большое количество статистического материала и разностороннее изучение ОМЯ позволили выполнить их картографирование [2], установить пространственные закономерности, частоту и интенсивность проявления ОМЯ.

Значительно слабее для территории страны изучены вопросы оценки природных рисков и влияния ОМЯ на различные виды хозяйственной деятельности. Ощущается недостаток работ по методике расчета этого влияния на различные виды экономической деятельности. Существующие проблемы в этой сфере рассматриваются В. Ф. Логиновым [18], где проводится анализ факторов экономического развития, создающих предпосылки снижения метеорологических рисков. Первые попытки оценить природные риски и их влияние на различные виды экономической деятельности с апробацией соответствующих методик оценки к условиям Беларуси выполнены И.П. Деревяго, М. Г. Герменчук, В. И. Мельником, Д. А. Рябовым [6, 19, 26]. Значительно глубже данные вопросы отражены в работах Российских исследователей. Апробация ряда методик анализа природных рисков и оценки влияния ОМЯ на различные отрасли экономики рассматриваются в работах В. И. Осипова, Л. А. Хандожко, А. А. Фокичева, Н. В. Кобышева, А. И. Бедрицкий и др. исследователей [4, 5, 11, 12, 24, 29-31].

Еще менее изученными представляются вопросы воздействия ОМЯ на дорожно-транспортную ситуацию на дорогах и оценки этого воздействия. Наиболее комплексно эти вопросы рассматриваются С. А. Аземша и А. Н. Старовойтовым [1], где описан ряд подходов к изучению статистики ДТП в Беларуси, рассмотрены показатели динамики аварийности. В основном же эта проблема в исследованиях белорусских ученых сводится к изучению влияния ОМЯ на автодорожное полотно и методов борьбы с неблагоприятными метеорологическими явлениями, а также вопросам повышения качества и диагностики автомобильных дорог.

Таким образом, в Беларуси проблема оценки воздействия ОМЯ на ДТС и ДТП на дорогах пока находится в начальной стадии изучения. Данное исследование ориентировано на выявление взаимосвязей ОМЯ с ДТП на дорогах и оценку влияния погодных условий на ДТС в Минской области. Задачи исследования – проанализировать динамику и интенсивность опасных и гидрометеорологических явлений за период потепления и особенности их распределения на территории Минской области; рассмотреть дорожно-транспортную ситуацию на дорогах Минской области, факторы, обуславливающие возникновение ДТП, их динамику и территориальное распределение; проанализировать статистику ДТП на дорогах, провести их корреляцию с опасными гидрометеорологическими явлениями.

Материалы и методы. В основу работы положены материалы, предоставленные филиалом «Минскоблгидромет» Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды. Данные о ДТП предоставлены УГАИ УВД Минской области за 2016-2020 гг. Критерии выделения ОМЯ приводятся по ТКП 17.10 - 06-2008 [28] и ГОСТ Р 22.0.03-95 [7].

Для оценки изменения климата Всемирной метеорологической организацией предлагается временной отрезок в 30-40 лет. Такой интервал рассматривается как минимальный и рекомендуется для объективной оценки динамики климата, т.к. он близок к циклам солнечной активности.

Статистически значимый рост температуры в Беларуси зарегистрирован с 1989 г [17]. Этот период, начавшийся с зимы 1989 гг., называют «периодом активизации потепления» [25, 9]. Поэтому для исследования выбран отрезок с 1990 по 2020 гг. этим он интересен и с точки зрения изучения динамики, частоты и географического рас-пределения ОЯ.

Пространственное распределение ОЯ Минской области оценивалась с помощью картирования этих явлений. Временные ряды количества дней в году с ОЯ, количество и территориальное рапределение ДТП на дорогах области исследовались с помощью стандартных статистических методов. Анализ взаимосвязи ДТП и ОЯ проведен на основании корреляционного анализа.

Анализ динамики количества и интенсивности ОЯ проведен с разделением на временные интервалы, кратные 10-ти годам. Для оценки частоты повторяе-мости возникновения явлений в качестве базового взят интервал 1981-1990 гг.

Результаты и обсуждение. *Динамика проявления и географическое распределение ОМЯ.*

За рассматриваемый период на территории Минской области было зафиксировано 153 ОЯ. На фоне незначительного сокращения общего количества ОМЯ (рисунок 1) отмечается положительная динамика количества таких явлений, как очень сильная жара, очень сильный снег, налипание мокрого снега, очень сильный ливень, очень сильный ветер [23]. Проявление остальных ОЯ имеет отрицательную динамику, либо является относительно устойчивым от десятилетия к десятилетию.

Анализ динамики количества ОМЯ по типам (рисунок 2) показывает, что самым частыми среди них являются очень сильный дождь (83 случая) и очень сильный ветер (14 случаев).

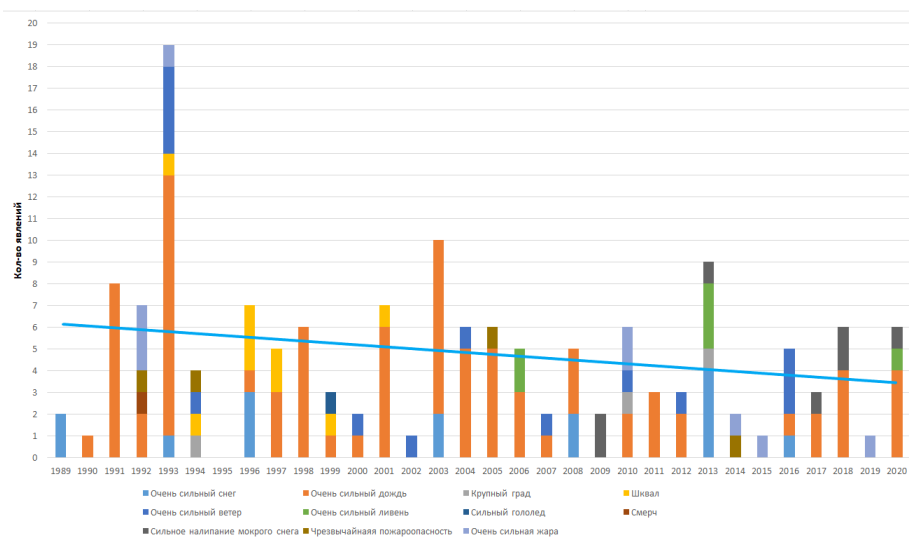


Рисунок 1 – Количество и периодичность ОМЯ на территории Минской области за период 1989 – 2020 гг.

Наибольшее количество наблюдаемых опасных явлений было зафиксировано в 1993 (19 явлений), 2003 (10 явлений) и 2013 (9 явлений) годах. В отдельные годы (1995) на территории Минской области не складывалось синоптических условий, благоприятных для возникновения ОЯ.

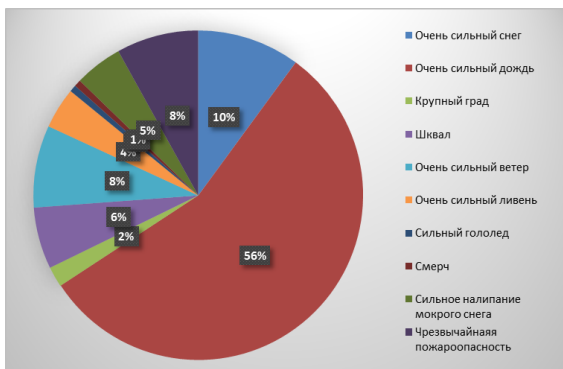


Рисунок 2 – Процентное соотношение ОЯ на территории Минской области

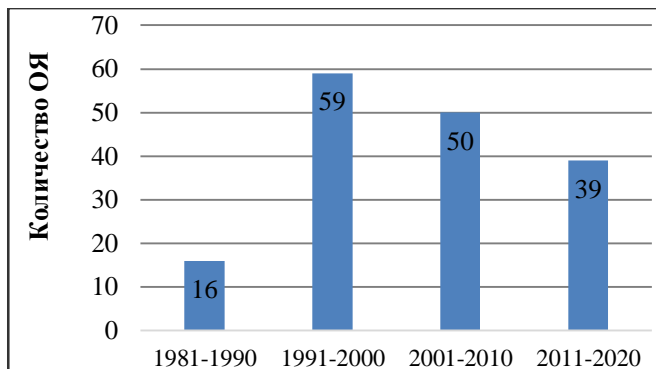


Рисунок 3 – Динамика общего количества ОМЯ по десятилетиям за 1981 – 2020 гг.

Количество ОЯ год от года сильно варьирует, поэтому для более визуального представления о динамике ОЯ выполнен расчет количества явлений с интервалом в 10 лет, т.е. по десятилетиям (рисунок 3): 1980-1990 как базовый отрезок до потепления, первое анализируемое десятилетие (1991-2000 гг.), второе – (2001-2010 гг.), третье – (2011-2021 гг.).

Анализ частоты проявления ОЯ по десятилетиям показывает, что общее количество ОЯ по отношению к базовому десятилетию (1981-1990 гг.) существенно выросло в 3-3,7 раза достигая максимума в период 1991-2000 гг., после этого происходит незначительное сокращения количества ОЯ в направлении к текущему десятилетию.

Следует отметить, что значительная часть ОМЯ для Минской области носит сезонный характер и имеет сезонную приуроченность (рисунок 4). Сезонность явлений определялась в зависимости от времени возникновения явления. К теплему периоду отнесены ОЯ, зафиксированные в период с апреля по октябрь, к холодному – с ноября по март.



Рисунок 4 – Количество ОМЯ за теплый и холодный периоды года

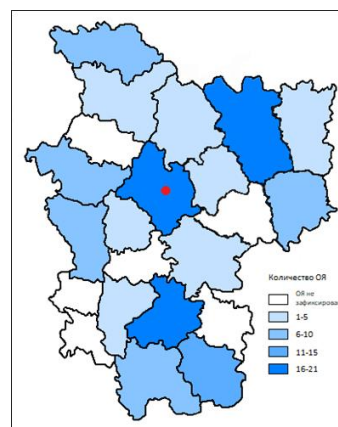


Рисунок 5 – Количество ОМЯ по районам Минской области за период 1989 – 2020 гг

Анализируя сезонную динамику проявления ОМЯ, можно отметить, что примерно 80% из них приходится на теплый период года, когда отмечается активная конвективная деятельность и только около 20 % – на холодный период.

Общее количество ОМЯ в районах Минской области значительно варьирует. Наибольшее количество отмечено в: Минском районе (24 ОМЯ), Борисовском (15), Слуцком и Любанском (14). В отдельных районах (таблица 1, рисунок 5) за исследуемый период ОМЯ не отмечены, что обусловлено отсутствием метеостанций, которые могли бы их зафиксировать.

Таблица 1 – Количество ОМЯ по районам Минской области

Районы	Общее кол-во ОМЯ	Районы	Общее кол-во ОМЯ
Минский	24	Вилейский	5
Борисовский	15	Смолевичский	2
Слуцкий	14	Копыльский	2
Любанский	14	Крупский	1
Логойский	11	Дзержинский	1
Воложинский	10	Молодечненский	0
Пуховичский	8	Червенский	0
Столбцовский	8	Узденский	0
Березинский	7	Несвижский	0
Мядельский	7	Клецкий	0
Солигорский	6	Стародорожский	0

Значительная часть ОЯ имеет локальное проявление. Однако такие ОМЯ, как заморозки, сильный ветер, сильные дожди и снегопады, чрезвычайная пожарная опасность могут охватывать большую часть территории и проявляться сразу в нескольких районах.

Распределения ДТП на дорогах Минской области

По данным УГАИ ГУВД Минской области за пятилетний период (2016-2020 гг.) на дорогах области зафиксировано 4008 ДТП. Лидирует по количеству ДТП на дорогах Минский район (с учетом г. Минска). Второе место занимает Смолевичский район. В первую пятерку по ДТП входят также Борисовский, Молодечненский и Солигорский районы (таблица 2).

Таблица 2 – Количество ДТП на дорогах Минской области за 2016-2020 гг.

Район	2016	2017	2018	2019	2020	Всего
Минский	155	147	145	144	174	765
Смолевичский	72	60	68	58	65	399
Борисовский	99	89	64	68	74	394
Молодечненский	55	52	61	52	54	274
Солигорский	56	51	54	50	42	253
Слуцкий	59	46	44	45	50	244
Пуховичский	51	39	42	40	47	219
Дзержинский	38	44	37	40	43	202
Вилейский	24	28	37	28	32	149
Логойский	26	34	28	22	30	140
Столбцовский	25	22	30	27	26	130
Узденский	25	23	18	24	24	114
Червеньский	25	19	16	26	20	106
Воложинский	29	17	17	22	18	103
Несвижский	23	23	14	17	20	97
Копыльский	27	17	10	20	21	95
Клецкий	16	18	12	11	21	78
Крупский	14	17	17	15	11	74
Березинский	12	15	14	14	14	69
Любанский	14	10	14	14	15	67
Мядельский	23	16	8	5	10	62
Стародорожский	12	11	7	9	11	50
Минская обл.	880	798	757	751	822	4008

Стоит отметить закономерный факт, что наибольшее количество ДТП происходит в тех районах, через которые проходят трассы республиканского и международного значений, с наиболее высокой интенсивностью автопотока.

Таблица 3 – Соотношение дней с ОЯ и количества ДТП

Период	Кол-во дней без ОЯ (Д _б)	Количество ДТП без ОЯ (ДТП _б)	Среднее кол-во ДТП в день без ОЯ (ДТП _б)/(Д _б)	Кол-во дней с ОЯ (Д _с)	Количество ДТП с ОЯ (ДТП _с)	Среднее кол-во ДТП с ОЯ (ДТП _с)/(Д _с)
2016	361	868	2,4	5	12	2,4
2017	362	794	2,2	3	4	1,3
2018	361	750	2,1	4	7	1,2
2019	364	751	2,1	1	0	0
2020	361	813	2,3	5	9	1,5
ИТОГО	1809	3976	2,2	18	32	1,8

За рассматриваемый период на территории Минской области зарегистрировано 18 дней с ОЯ, количество дней без ОЯ за данный период составило 1809 (таблица 3). За эти 18 дней зарегистрировано 32 ДТП, что составляет в среднем 1,8 ДТП в день, при этом количество ДТП за день при отсутствии ОЯ составило 2,2. Данный факт, вероятно, обусловлен тем, что на территории области есть 6 районов (см. таблица 1), где за исследуемый период ОМЯ не отмечены в связи с отсутствием на их территории метеостанций. Очевидно, что этот факт отразился на полученных результатах.

Сопоставив вышеприведенные группы данных, нами рассчитан индекс аварийности, обусловленный проявлением ОЯ ($I_{АОЯ}$). При расчете индекса аварийности ($I_{АОЯ}$), обусловленного проявлением ОЯ аварийность в обычные дни (без проявления ОЯ) принималась нами как эталонная, по отношению к ней коэффициент аварийности, обусловленный проявлением ОЯ рассчитывался как

$$I_{АОЯ} = \left(\frac{Ср.ДТП_{ОЯ}}{Ср.ДТП_{бОЯ}} \right) * 100\% \quad (1)$$

где $I_{АОЯ}$ – индекс аварийности, обусловленный проявлением ОЯ; $Ср.ДТП_{ОЯ}$ – среднее количество ДТП с ОЯ за день; $Ср.ДТП_{бОЯ}$ – среднее количество ДТП без ОЯ за день.

Величина общего индекса аварийности всех ДТП, обусловленная проявлением ОЯ, по отношению к аварийности в обычные дни (без проявления ОЯ) составила лишь 82 %. Вместе с тем, анализ влияния отдельных ОЯ на количество ДТП позволил выявить наиболее значимые ОМЯ чье влияние на ДТП наиболее существенно (таблица 4). Наиболее опасным МЯ является ливень, встретившийся 1 раз и вызвавший 5 ДТП, что характеризует его наравне с налипанием мокрого снега, наиболее экстремальным явлением. Очень сильный дождь и ветер хотя и являются наиболее часто встречающимися явлениями, но имеют наиболее низкие индексы аварийности.

Таблица 4 – Индексы аварийности отдельных ОМЯ

ОЯ	Дней с ОЯ	ДТП	<i>I</i> _{АОЯ} (%)
Очень сильный Снег	1	2	91
Очень сильный Дождь	9	13	65
Очень сильный Ветер	3	4	60
Налипание мокрого снега	3	8	134
Очень сильная Жара	1	0	0
Очень сильный Ливень	1	5	227
Всего	18	32	82

Сезонная динамика и региональное распределение ДТП на дорогах области

Анализ сезонного распределения ДТП по области позволил установить, что с точки зрения общей аварийности (количества ДТП) на каждый месяц приходится от 5 до 12 % ДТП. Однако, количество ДТП, обусловленных ОМЯ, имеет более четкую сезонную привязанность, что обусловлено сезонностью распределения ОМЯ (см. рисунок 4). Поэтому 68,7 % ДТП, обусловленных ОМЯ, приходится на теплое время и только 31,3 % – на холодное время года.

Ежегодно по данным УГАИ ГУВД Минской области до 2 % аварий происходят из-за влияния ОЯ. Единственное исключение из этого правила – 2019 год, когда в дни наблюдения ОЯ не случилось ни одного ДТП (таблица 5). Наиболее часто ДТП, обусловленные ОЯ, отмечены в Минском (7 ДТП) и Смолевичском (6 ДТП) районах.

Таблица 5 – Количество ДТП на дорогах Минской области, обусловленных ОМЯ

Район	2016		2017		2018		2019		2020		Итого	
	Кол-во ДТП	Из-за ОЯ	Кол-во ДТП	Из-за ОЯ	Кол-во ДТП	Из-за ОЯ	Кол-во ДТП	Из-за ОЯ	Кол-во ДТП	Из-за ОЯ	Кол-во ДТП	Из-за ОЯ
Мядельский	23		16	1	8		5		10		62	1
Вилейский	24		28		37		28		32		149	0
Логойский	26		34		28	1	22		30	1	140	2
Борисовский	99		89		64		68		74	2	394	2
Крупский	14		17		17		15		11		74	0
Молодечненский	55		52		61		52		54	1	274	1
Минский	155	4	147		145	3	144		174		765	7
Смолевичский	72	2	60	1	68	1	58		65	2	323	6
Березинский	12		15		14		14		14	1	69	1
Воложинский	29		17	1	17		22		18		103	1
Дзержинский	38		44	1	37		40		43		202	1
Червеньский	25	1	19		16		26		20	1	106	2
Столбцовский	25		22		30	1	27		26		130	1
Узденский	25	1	23		18		24		24		114	1
Пуховичский	51		39		42		40		47	1	219	1
Несвижский	23		23		14		17		20		97	0
Копыльский	27		17		10		20		21		95	0
Слуцкий	59	2	46		44		45		50		244	2
Стародорожский	12		11		7		9		11		50	0
Клецкий	16	1	18		12		11		21		78	1
Солигорский	56		51		54	1	50		42		253	1
Любанский	14	1	10		14		14		15		67	1
Минская обл.	880	12	798	4	757	7	751	0	822	9	4008	32

Количественная оценка и корреляционный анализ показателей

Для выявления зависимости ДТП от ОМЯ выполнен корреляционный анализ показателей, при этом использовался коэффициент линейной корреляции Пирсона (рисунок 6). В этот анализ закладывались данные о количестве дней, в которые наблюдалось то или иное ОЯ, а также о количестве ДТП в дни с ОМЯ.

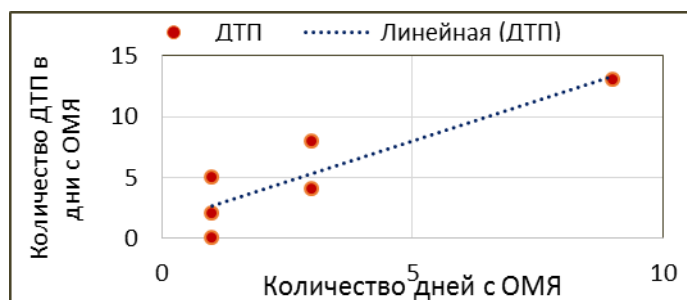


Рисунок 6 – Результат корреляционного анализа между количеством ДТП в дни с ОМЯ и количеством дней с ОМЯ (2016-2020 гг)

Согласно расчётам, коэффициент корреляции Пирсона составляет 0,41. Это означает, что зависимость между ОЯ и ДТП прямая: чем больше ОЯ, тем больше ДТП происходит. Такая зависимость говорит о тесной взаимосвязи этих двух переменных. Однако зависимость не максимальная, указы-вающая, что на создание аварийных ситуаций и ДТП влияют не только погодные условия.

Заключение. В ходе проведенных исследований установлено:

1. За период активизации потепления количество ОМЯ на территории страны увеличилось по отношению к базовому десятилетию (1981-1990 гг.) в 3-3,7 раза. Отчетливая положительная динамика характерна для таких ОЯ как очень сильная жара, очень сильный снег, налипание мокрого снега, очень сильный ливень, очень сильный ветер.

2. Значительная часть ОМЯ имеет локальное проявление. Однако некоторые ОЯ, такие как заморозки, сильный ветер, сильные дожди, сильные снегопады, чрезвычайная пожарная опасность могут проявляться одновременно в 2-3 и более районах.

3. В годовом распределении ОЯ отчетливо выражена сезонная динамика: около 80 % из них приходится на теплый период года, когда отмечается активная конвективная деятельность.

4. Установлено влияние погодных условий на ДТС в Минской области. С помощью корреляционного анализа выявлена зависимость ДТП от ОМЯ. Согласно расчетам, коэффициент линейной корреляции Пирсона составляет 0,41 и указывает на прямую зависимость между ОЯ и ДТП. Однако зависимость не максимальная. Это означает, что на создание аварийных ситуаций и ДТП влияет не только погода, но и другие в т.ч. и субъективные факторы.

5. Для оценки влияния ОМЯ на ДТС вводится специальный показатель - «индекс аварийности», обусловленный проявлением ОЯ ($I_{АОЯ}$), величина которого по отдельным ОМЯ варьирует от 60 до 227 %. Анализ влияния отдельных ОЯ на количество ДТП на основе индекса аварийности, позволил выявить наиболее значимые ОМЯ, чье влияние на ДТП наиболее существенно. К ним относятся: сильный ливень и налипание мокрого снега.

Список цитированных источников

1. Аземша, С. А. Применение научных методов в повышении безопасности дорожного движения / С. А. Аземша, А. Н. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2017. – 191 с.
2. Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока [и др.]. – М., 2016. – 58 с.
3. Бертош, Е. Национальный доклад: уязвимость и адаптация к изменению климата в Беларуси / Е. Бертош, Т. Лукашевич, Д. Русаков и др. – Минск, 2014. – 43 с.
4. Бедрицкий, А. И. Влияние опасных гидрометеорологических явлений на устойчивое развитие экономики России / А. И. Бедрицкий, А. А. Коршунов, М. З. Шаймарданов // Метеорология и гидрология. – 2017. – № 7. – С. 59–67.
5. Бедрицкий, А. И. Гидрометеорологическая уязвимость и устойчивое развитие России. Прогнозирование и адаптация общества к экстремальным климатическим изменениям: Материалы Международной конф. по проблемам гидрометеорологи-ческой безопасности. – М., 2007. С. 39–52.
6. Герменчук, М. Г. Оценки экономической эффективности обслуживания гидрометеорологической информацией отраслей экономики в Республике Беларусь / М. Г. Герменчук, В. И. Мельник // Природные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 95–97.
7. ГОСТ Р 22.0.03-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.
8. Деревяго, И. П. Управление экологическими рисками в системе устойчивого природопользования / И. П. Деревяго, Д. А. Невдах // Природные ресурсы. 2005. – № 2. – С. 65–75.
9. Иванов, Д. Л. Экстремально высокие темпы роста температуры воздуха как характерная черта и особенность климата территории Беларуси в условиях глобального потепления / Д. Л. Иванов, Е. А. Ивашко // Развитие географических исследований в Беларуси в XX–XXI веках: м-лы межд. науч.-практ. конф., посв. 100-летию Белорус. гос. ун-та, 100-летию со дня рождения проф. О. Ф. Якушко. – Минск : БГУ, 2021. – С. 329–332.
10. Кобышева, Н. В. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере / Н. В. Кобышева, Е. М. Акентьева, Л. П. Галюк. – СПб : Издательство Кириллица, 2015. – 216 с.
11. Кобышева, Н. В. Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации / Н. В. Кобышева, К. Ш. Хайруллин. – Гидрометеоиздат, 2005. – 319 с.
12. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
13. Логинов, В. Ф. Географические особенности распределения гроз и шквалов на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, Н. А. Волчек, И. Н. Шпока // Природопользование Сб. науч. тр. – 2004. – Вып. 15. – С. 42–49.
14. Логинов, В. Ф. Изменчивость числа дней со шквалами в Беларуси / В. Ф. Логинов, Н. А. Волчек, И. Н. Шпока // Природопользование. Сб. науч. тр. – 2008. – Вып. 14. – С. 51–57.

15. Логинов, В. Ф. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока. – Минск, 2010. – 128 с.
16. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования, 2-ое изд. / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Минск, УП «Энциклопедикс», 2020. – 264 с.
17. Логинов, В. Ф. Метеорологические риски на территории Беларуси: Оценка, прогноз, пути минимизации / В. Ф. Логинов, М. И. Струк // Известия РАН. Сер. географическая. – 2010. – № 4. – С. 112–122.
18. Мельник, В. И. Изменения основных климатических параметров и повторяемость опасных гидрометеорологических явлений в Республике Беларусь / В. И. Мельник, М. Г. Герменчук, Е. В. Комаровская // М-лы постоянно действующего семинара при Парламентском собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства (заседание двадцать второе, 8–10 декабря 2010 года, г. Смоленск). – Минск : Центр системного анализа и стратегических исследований НАН Беларуси, 2010. – С. 135–146.
19. Метеорологический ежемесячник / Мин-во природ. ресурсов и охраны окр. среды Республики Беларусь. Климатический кадастр РБ. № 1–13. – Минск. – 1975–2015.
20. Национальный доклад: Уязвимость и адаптация к изменению климата в Беларуси. – Минск, 2014. – 43 с.
21. Неблагоприятные явления погоды и их влияние на различные отрасли экономики и население. – Минск, 2006. – 63 с.
22. Обзор климатических особенностей и опасных гидрометеорологических явлений на территории Республики Беларусь. – Минск : Белгидромет, 1996-2016.
23. Осипов, В. И. Оценка природных рисков / В. И. Осипов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2004. – № 6. – С. 483–490.
24. Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010-2020 гг. / Под ред. В. Ф. Логинова. – Мн. : Минсктиппроект, 2004. – 180 с.
25. Рябов, Д. А. Об используемых методиках расчета экономической эффективности гидрометеорологического обеспечения отраслей экономики и предложения по приданию им официального статуса / Д. А. Рябов. – РГМЦ. – 2013.
26. Технический обзор опасных гидрометеорологических явлений и климатических особенностей на территории Республики Беларусь / РГМЦ. – Минск, 2016-2021.
27. ТКП 17.10-06-2008 (02120) Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения. – Мн. : Минприроды, 2008.
28. Фокичева, А. А. Обеспечение гидрометеорологической безопасности в нестабильных климатических условиях на примере адаптации автотранспортной системы к неблагоприятной погоде / А. А. Фокичева, А. Ю. Рыбанова, А. А. Коршунов // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 11. – С. 25–43.
29. Хандожко, Л. А. Выбор оптимального погодо-хозяйственного решения на основе прогноза гидрометеорологических условий / Л. А. Хандожко, А. А. Коршунов, А. А. Фокичева // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 1. – С. 5–17.

30. Хандожко, Л. А. Показатели влияния погодных условий на экономику: оценка коэффициента непредотвращенных потерь / Л. А. Хандожко, А. А. Коршунов // Метеорология и гидрология. – 2000. – № 12. – С. 14–23.

УДК 551.48(468)

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ОЗЕРЕ ЧЕРВОНОЕ (БЕЛОРУССКОЕ ПОЛЕСЬЕ)

П. И. Кирвель¹, С. И. Парфомук²

¹Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт мелиорации, Минск, Беларусь, ravelkirviel@yandex.by

²УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, parfom@mail.ru

Аннотация

В последнее время к исследованию ледового режима озёр привлечено большое внимание в лимнологии. Изменение климата привели к нарушению и в озёрных экосистемах. Важным условием остается изменение ледовых явлений в зависимости от географического положения озёр (Blenckner, 2001) [3]. Вместе с тем, как пример, на неоднородность ледового режима в Европе можно привести работы (Yoo and D'Odorico 2002, Vuglinsky et all 2002, Skowron 2021) [29, 32, 34]. Исследование изменений ледовых явлений на озере Червоном определено его расположением во втором по величине озерном районе республики, Белорусском Полесье. Выбор озера продиктован наличием полной серии данных о ледовых явлениях (начало и конец ледовых явлений, начало и конец ледового покрова, максимальная толщина льда) в период 1961-2020 гг. Положение озера на юге Беларуси 27°58'с.ш. и 52°24'в.д. определено ледниковым происхождением. Озеро является самым большим по площади среди озер Белорусского Полесья – 4032 га и третьим в республике после озера Нарочь – 7960 га. Полный объём озера составляет 27,3 млн. м, максимальная глубина – 2,9 м, средняя глубина – 0,7 м, что определяет его мелководность.

Ключевые слова: озеро, ледовый покров, толщина льда.

TRENDS OF CHANGING ICE PHENOMENA ON LAKE CHERVONOE (BELARUSIAN POLESIE)

P. I. Kirvel, S. I. Parfomuk

Abstract

Recently, much attention in limnology has been attracted to the study of the ice regime of lakes. Climate change has led to disturbances in lake ecosystems as well. An important condition is the change in ice phenomena depending on the geographic location of lakes (Blenckner, 2001). At the same time, works (Yoo and D'Odorico 2002, Vuglinsky et all 2002, Skowron 2021) can be cited as an example of the heterogeneity of the ice regime in Europe. The study of changes in ice phenomena on Lake Chervonoye is determined by its location in the second largest lake region of the republic, Belarusian Polesie. 1961-2020 Position of the lake in the south of Belarus 27°58'N and

52°24' v.d. determined by glacial origin. The lake is the largest in terms of area among the lakes of the Belarusian Polesie - 4032 hectares and the third in the republic after Lake Naroch - 7960 hectares. The total volume of the lake is 27.3 million m, the maximum depth is 2.9 m, the average depth is 0.7 m, which determines its shallowness.

Keywords: lake, ice cover, ice thickness.

Материалы и методы. Первые исследования ледового режима озера Червоного начались в 1956 году хотя на озёрах Белорусского Поозерья они начались значительно раньше. Так на озере Дривяты с 1928 года, на озере Лукомском с 1932 года и на озере Нарочь с 1944 года. Несмотря на некоторые перерывы в исследованиях в статье принят период с 1961 по 2020 годы. Наблюдения за ледовым режимом проводился в зимнее время в 7-00, где регистрировались даты начала и конца выступления ледовых явлений и ледового покрова, толщина льда измерялась с точностью 1 см.

В настоящей работе использованы данные Гидрометслужбы Республики Беларусь и личные экспедиционные сведения. Проанализированы даты начала и конца ледовых явлений, времени их существования, максимальную толщину льда в исследуемых годах. Вместе с тем дан анализ метеорологической обстановки и температуры воздуха на станции Пинск, которая находится в непосредственной близости от озера.

Расчеты ледовых параметров выполнены в компьютерной программе Excel и Corel Quattro Pro 8, а графики выполнены с использованием программы Corel Draw 9.

Целью работы является расчёт изменений ледовых явлений в 1961-2020 годах на озере Червоном, в связи с изменением климата.

Результаты. Важное значение для формирования появления ледовых явлений имеет изменение температуры воздуха. Эти условия представляют течение термической зимы, т.е. изменение суточной температуры равной или ниже 0°C. Начало термических зим и их течение в 1961-2020 годах подтверждают очень большую изменчивость термических условий в холодную часть года. Изменчивость дат начала и конца термической зимы в анализируемом периоде не определяет значительных изменений, однако существует небольшая тенденция к ее уменьшению. Каждую зиму холодные и морозные периоды прерываются периодами оттепелей разной интенсивности и времени продолжения. Даты определяющие термические зимы в Беларуси за оставшие 60 лет начинались в широком временном диапазоне. Начало климатической зимы чаще всего начиналась в последней декаде ноября, а конец в конце марта. Существовали годы, когда климатической зимы не было совсем (2020). Время термической зимы в южной части республики составляет 60-90 дней. Изменение температуры воздуха в Белорусском Полесье начинается с ее понижения с запада на восток.

Таблица 1 – Средняя температура воздуха в период декабрь-март и тренды во время зимы (декабрь-март) за 1961-2020.

Станция	Средняя температура воздуха		Средний тренд	
	Январь	Декабрь-март	Декабрь-март	год
Пинск	-4,4	-4,4	0,08	0,05

Данные таблицы 1 свидетельствуют о ее незначительном изменении. В зимнее время отмечен положительный тренд средней температуры воздуха на всех станциях. На станции Пинск средний тренд за декабрь –март 0,08, за год 0,05. Общеизвестно, что проявление ледовых явлений на озерах зависит от многих показателей, среди которых следует указать среднюю глубину и объём (0,7м; 27,3 млн. м³)

В исследуемом периоде ледовые явления на озере Червоном появились в конце октября в 1987, 1988 годах (таблица 2).

Таблица 2 – Средние значения ледовых характеристик в озере в 1961-2020 гг.

No	Озеро	Начало		Конец		Продолжительность суток		Максимальная толщина ледяного покрова (см)	Среднепропорциональная доля ледовых явлений в долгосрочном периоде (%)
		ледовые явления	ледяной покров	ледяной покров	ледовые явления	ледовые явления	ледяной покров		
1	Червоное	20-11	30-11	27-03	28-03	132,1	116,6	36,0	85,3

Начало появления ледового покрова, в связи с мелководностью, на озере Червоном приходится на 30 ноября, а на озере Нарочь 17 декабря. Самая ранняя дата приходится на начало ноября в 1973 и 1988 годах.

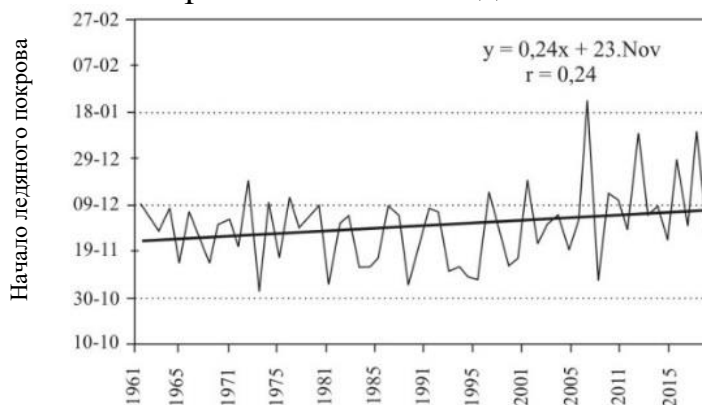


Рисунок 1 – Ход начальных дат ледового покрова на озере Червоном

На рисунке 1 показан ход начала дат ледового покрова, который характеризуется положительным трендом $0,36 \text{ дней. год}^{-1}$.

Таблица 3 – Размеры стандартного отклонения по ледовым характеристикам выбраны в 1961-2020 гг.

No	Озеро	Начало		Конец		Продолжительность суток		Максимальная толщина ледяного покрова (см)
		ледовые явления	ледяной покров	ледяной покров	ледовые явления	ледовые явления	ледяной покров	
1	Червоное	14,64	16,77	15,55	16,61	19,5	21,83	11,11

Конец ледового покрова на озерах Беларуси приходится на конец апреля. Даты исчезновения ледового покрова на всех озёрах Беларуси имеют отрицательный тренд (средний $-0,34 \text{ дня. год}^{-1}$) от $0,09$ (озеро Червоное) до $-0,67 \text{ дня. год}^{-1}$.

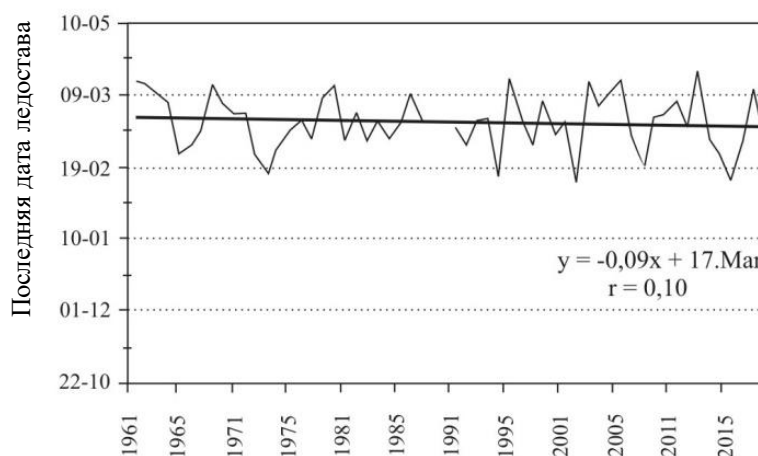


Рисунок 2 – Ход окончания даты ледового покрова на озере Червоное в 1961-2020 годах и линия тренда

Конец ледовых явлений на озёрах Белорусского Полесья приходится на первую декаду апреля и характеризуется также отрицательным трендом $-0,52-0,6 \text{ дней. год}^{-1}$.

Отражением термической зимы является время продолжительности ледового покрова на озёрах (Sobolewski, 2014) [30]. На озере Червоном эта величина составляет 117 дней (на Нарочи – 113).

Таблица 4 – Ход продолжения ледяного покрова (дней) в 10-летних интервалах

No	Озеро	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020
1	Червоное	130,1	125,0	119,3	124,0	111,5	94,5

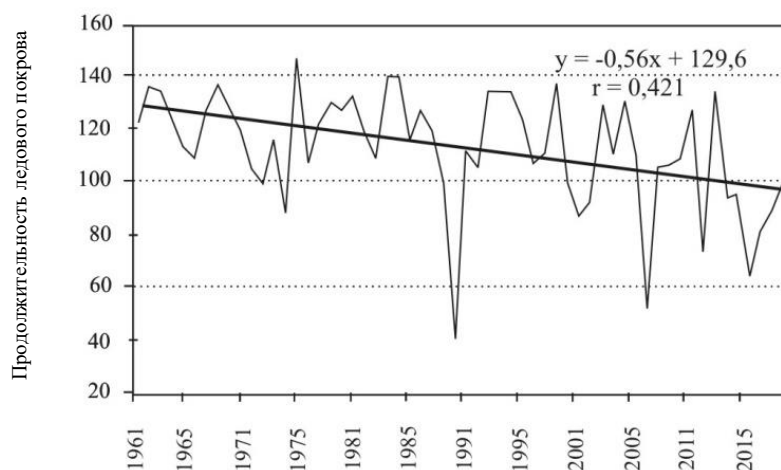


Рисунок 3 – Протяженность ледового покрова на озере Червоное в 1961-2020 гг. и линия тренда

Продолжительность ледового покрова тесно связана с продолжительностью климатической зимы, где коэффициент корреляции составил 0,71. Наибольшая продолжительность ледового периода на озере составила 167 дней. В анализируемом периоде в 2020 году ледовый покров на озере отсутствовал. Следует отметить, что продолжительность ледового покрова по десятилетиям уменьшается с 130,1 дня в период с 1961 по 1970 год до 94,5 дня в период с 2011 по 2020 год, что еще раз подтверждает потепление климата в зимний период года.

Толщина льда является хорошим показателем климатических условий, морфометрии озера и его водосбора между которыми существует хорошая связь, но иногда она может и отсутствовать. В анализируемом периоде толщина льда была очень изменчива и составляла от 30,1 до 40,4 см (Кирвель, 2007) [18].

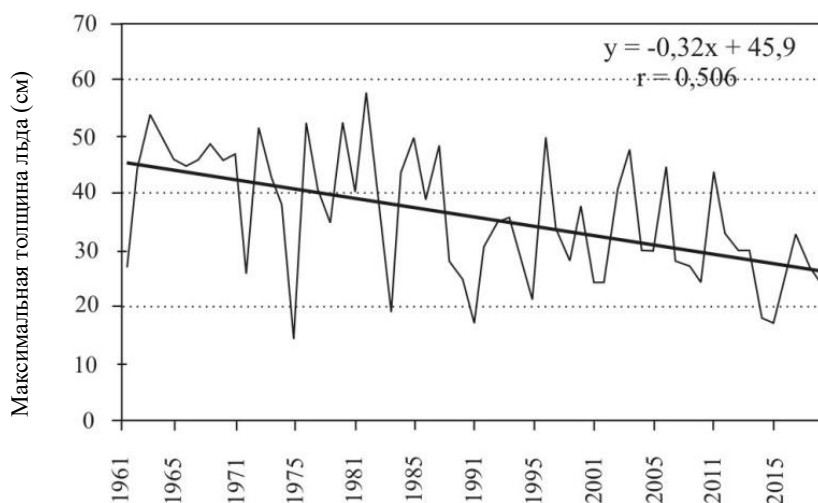


Рисунок 4 – Ход максимальной толщины ледового покрова в озерах Червоное в 1961-2020 годах и линия тренда

Максимальная толщина льда была отмечена в 1963, 1969, 1970 и 1996 годах, когда ее величина достигла около 70 см (Червоное – 56 см, Нарочь – 71 см). Максимальная толщина льда была зарегистрирована от второй декады февраля до третьей декады марта включительно. Озеро характеризуется отрицательным трендом в среднем 0,3-0,4 см. год⁻¹.

Таблица 5 – Трендовые значения озера Червоное в 1961-2020 гг.

No	Озеро	Начало		Конец		Продолжительность суток		Максимальная толщина ледяного покрова (см)
		ледовые явления	ледяной покров	ледяной покров	ледовые явления	ледовые явления	ледяной покров	
1	Червоное	0,04	0,24	-0,09	-0,34	-0,48	-0,56	-0,32

Перерывов в существовании ледового покрова на озере не наблюдалось (исключение 2020 год).

Исследование проведенные польскими учеными 30-31 января 2004 года на 33 озерах Европы на расстоянии 1200км (8,02°E-25.50°E) подтвердили, что мощность льда увеличивается от 3 до 33 см в восточном направлении, что свидетельствует о увеличении значения атмосферной циркуляции (Marszelewski, Skowron 2005) [23].

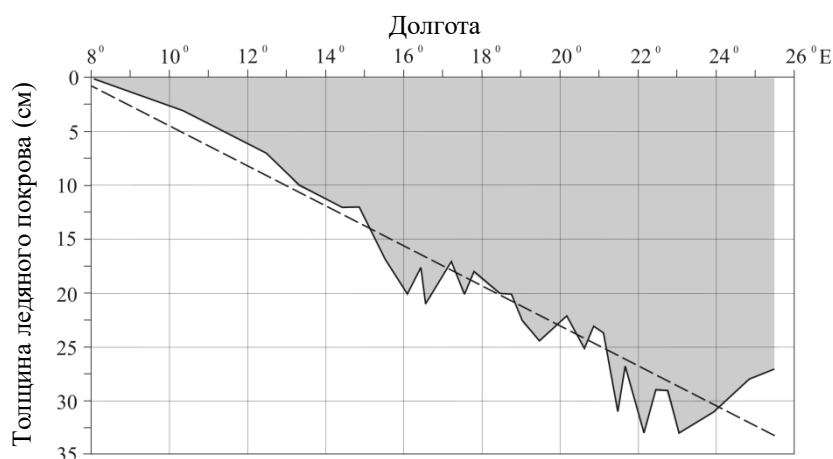


Рисунок 5 – Изменение толщины ледяного покрова, 30 и 31 января 2004 года (Marszelewski, Skowron 2005)

Обсуждение результатов. Многие климатологи придерживаются мнения, что после 1980 года зимние периоды в целом были теплее, чем предыдущие зимы (Fortuniak et al. 2001, Przybylak et al. 2003, Kaszewski 2015) [13, 25, 17]. Они сходятся во мнении, что главной и фундаментальной причиной изменчивости климата является изменчивость атмосферной циркуляции и свойств воздушных масс, формирующих климат Центральной Европы.

Потепление климата вызвало изменения термического и ледового режима озер северного полушария (Magnuson et al. 2000, Benson et al. 2012) [21, 1]. Исследователи тщательно проанализировали ход льда на многих озёрах и реках по всему миру (Choiński et al. 2020, 2021) [6-7]. Наблюдения за обледенением озёр

и рек в северном полушарии в 1846-1995 гг. в течение 150 лет показали более позднее замерзание и более раннее разрушение ледяного покрова (Гронская и др., 2002) [15].

Это подтверждается ходом ледовой фенологии 8 озёр Карелии (северо-запад России) за 1950-2009 гг., в которых выявлены статистические связи между фенологией озёрного льда, температурой воздуха и индексом североатлантического колебания (САК), найдено (Ефремова и др., 2013) [12]. Исследования показали, что замерзание всех озёр происходит все позже и позже, а их исчезновение происходит все раньше и раньше по отношению к среднемуголетнему показателю. На Ладожском и Онежском озерах наблюдалось более раннее исчезновение ледового покрова (Карентиков, Науменко, 2008) [16], а в последние десятилетия XX века на крупнейших пресноводных озерах России, расположенных в высоких широтах, наблюдалось уменьшение ледяного покрова. толщина ледяного покрова (Лемешко, Гронская, 2004, Вуглинский, 2000, Вейхенмейер и др. 2011) [20, 31, 33]. Примеры уменьшения максимальной толщины ледяного покрова в это же время наблюдались и на озерах России (Ладожское, Онежское и Таймыр) (Гронская, 2000) [14]. Также во всех проанализированных озёрах наблюдается отрицательная тенденция, подтверждающая уменьшение максимальной толщины ледяного покрова, особенно после 1980 г.

Аналогичным образом А. Рейнарт и О. Пярн (2006) [26] показали, что ледяной покров на Чудском озере в Эстонии держится 115 дней (с 9 декабря по 4 апреля) и характеризуется более ранним вскрытием, как и многие другие озера северного полушария. Также на Ладожском озере его исчезновение происходит раньше (14 дней из 100 лет) (Каретников, Науменко, 2008) [16]. С другой стороны, на Онежском озере явление сокращения продолжительности ледового покрова вызывает увеличение безледного периода с 217 до 225 дней (Сало, Назарова, 2011) [27].

Как показала И. Данилович (2005) [10], в результате повышения температуры воздуха на 1,1°C в 1988–2002 гг. произошло значительное сокращение периода с температурой воды в диапазоне 0 и 2°C и продолжительность ледовых явлений на 5 сут, а льда на 6 сут (Данилович и др., 2017) [11]. Эти наблюдения подтверждаются наблюдениями за значительным уменьшением толщины льда в среднем на 4-9 см•год-1 (Кирвель, 2007, 2012) [18-19]. Для восьми озёр Карелии в 1950-2009 гг. проанализированы статистические связи между фенологией озёрного льда (датами замерзания и распада льда, продолжительностью ледостава), температурой воздуха и индексом североатлантического колебания НАО. Показано, что в последние 20 лет тенденции в хронологии ледовых явлений более четкие, чем за весь 60-летний период (Вуглинский и др., 2002, Ефремова и др., 2013) [32, 12].

При изучении ледовых явлений на польских озерах за 1951–2010 годы было установлено, что в этот период средняя продолжительность ледового покрова сократилась на 0,55 сут•год-1, а максимальная толщина ледового покрова – на 0,21 см• год-1) (Choiński at all, 2014) [8-9]. Эти результаты согласуются с более ранними польскими исследованиями течения ледовых явлений на озёрах в более

короткие промежутки времени (Paślawski 1982, Skowron 2009) [24, 28]. Пространственный анализ течения ледовых явлений показал, что максимальная толщина ледяного покрова, степень прочности ледяного покрова и количество разрывов ледяного покрова имеют четкое распределение.

Выводы. Период последних 200 лет на территории Центральной Европы и Балтийского и Черного морей характеризовался большими изменениями температуры воздуха и возникновением положительных трендов среднегодовых температур (март 1999 г.). Для Варшавы это 0,65°C за 100 лет, а для Вильнюса и Таллинна – 0,56°C за 100 лет, а для Минска 0,61°C за 100 лет (March, Styczyńska 2001, Boryczka 2004, Bukantis et al 2001, Bijak 2005) [22, 4, 5, 2]. Разнообразие влияния НАО на ход обледенения озера обусловлено не только влиянием степени континентальности, но и его индивидуальными особенностями.

Следует отметить, что на озере Червоное, средние сроки начала ледовых явлений появляются на 10,6 сут раньше начала ледостава, а их окончание наступает на 6,5 сут позже. Следует, однако, помнить, что в исследовании использовались в основном средние значения ледовых индексов за многолетний период 1961–2020 гг., тогда как все стадии оледенения озёр и их особенности в отдельные зимние сезоны создают весьма разнообразную мозаику, о чем свидетельствует стандартное отклонение.

Список использованных источников

1. Benson, B. J. Extreme events, trends, and variability in Northern Hemisphere lake-ice phenology (1855–2005) / B. J. Benson, J. J. Magnuson, O. P. Jensen, V. M. Card, G. Hodgkins, J. Korhonen, D. M. Livingstone, K. M. Stewart, G. A. Weyhenmeyer, N. A. Granin // *Climatic Change*, 2012. – № 112. – P. 299–323. <https://doi.org/10.1007/s10584-011-0212-8>.
2. Bijak, S. Wahania temperatury powietrza w Warszawie i Tallinie w latach 1779–2000 / S. Bijak // *Ekstremalne zjawiska hydrologiczne i meteorologiczne*, Polskie Towarzystwo Geofizyczne 2005, IMiGW, Warszawa. – S. 81–88.
3. Blenckner, T. Climate related impacts on a lake - from physics to biology / T. Blenckner // *Acta Universitatis Upsaliensis*, 2001, Uppsala. – Vol. 37. – P. 32–37.
4. Boryczka, J., The greenhouse effect myth / J. Boryczka // *Przegląd Geofizyczny*, 2004 – T. 4. – Z. 1-2. – S. 43–56.
5. Bukantis, A. Klimato svyraminu poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje: [monografija] / A. Bukantis [ir kt.]; Bukantis A., Kilkus K., Rimkus E. (ed.) // *Geografijos Institutas, Vilnius Universitetas*, 2001, Vilnius. – 280 p.
6. Choński, Adam. Analysis of Lake Water Levels Fluctuations in Poland and Belarus/ Adam Choński, Aleksander Volchak, Ivan Kirvel, Sergey Parfomuk, Svetlana Sidak, Pavel Kirvel // 6th IAHR Europe Congress «Hydro-environment Research and Engineering - No Frames, No Borders», Warsaw, June 30th – July 2nd 2020, [Electronic resource] : IAHR 2020 – ABSTRACT BOOK. – Warsaw, Poland: PAN, 2020. – P. 591–592. (Published 12.02.2021. ISBN 978-83-66847-01-9, DOI: 10.24425/136660).
7. Choinski, Adam. Effect of Air Temperature Increase on Changes in Thermal Regime of the Oder and Neman Rivers Flowing into the Baltic Sea/Adam Choinski, Mariusz Ptak, Alexander Volchak, Ivan Kirvel, Gintaras Valiuškevicus, Sergey

- Parfomuk, Pavel Kirvel, Svetlana Sidak//Atmosphere. – MDPI, 2021. – Volume 12, Issue 4 (April 2021). – P. 498–512. <https://doi.org/10.3390/atmos12040498>.
8. Choinski, Adam. Tendencje zmian zjawisk lodowych jezior Polski w latach 1951–2010 / Adam Choinski, Mariusz Ptak, Rajmund Skowron// Przegląd Geofizyczny, 2014 – T. 4. – Z. 1. – S. 23–40. <https://doi.org/10.7163/PrzG.2014.1.2>
 9. Choiński, A. Zjawiska lodowe na Morskim Oku / A. Choinski, J. Pociask-Karteczka, M. Ptak, A. Strzelczak // [w:] Morskie Oko – przyroda i człowiek; A. Choiński, J. Pociask-Karteczka (red.); Tatrzański Park Narodowy. – Zakopane: TPN, 2014. – 518s. – S. 67–79.
 10. Danilovich, I. Influence of climate warming on hydrological regime of lakes and reservoirs of Belarus in the years from 1988–2002 / I. Danilovich // The materials of the 15th Stockholm Water Symposium, Stockholm, Sweden, 15–21 August 2005 / Stockholm International Water Institute. – Stockholm, Sweden, 2005. – P. 69.
 11. Данилович, И. С. Особенности формирования водности рек Беларуси в последние десятилетия / И. С. Данилович, Л. Н. Журавович, М. Е. Нагибина, Е. Г. Квач // Природные ресурсы. – Минск, 2017. – № 2. – С. 5–12.
 12. Efremova, Tatiana. Long-term characteristics of ice phenology in Karelian lakes / Tatiana Efremova, Nikolay Palshin, Roman Zdrovenov // Estonian Journal of Earth Sciences. – Tallinn, Estonia, 2013. – Vol. 62, Issue 1. – P. 33–41. <https://doi.org/10.3176/earth.2013.04>.
 13. Fortuniak, K. Trendy i okresowość temperatury powietrza w Polsce w drugiej połowie XX wieku / K. Fortuniak, K. Kożuchowski, E. Żmudzka // Przegląd Geofizyczny, 2001. – Z. 4. – S. 283–303.
 14. Gronskaaya, T. P. Ice thickness in relation to climate forcing in Russia / T. P. Gronskaaya // Verh. Internat. Verein. Limnol. – Stuttgart, 2000 – P. 2800–2802. <https://doi.org/10.1080/03680770.1998.11898176>.
 15. Gronskaaya, T. P. Lakes of European Russia and Finland as Indicators of Climate Change / T. P. Gronskaaya, N. A. Lemeshko, L. Arvola, M. Jarvinen // World Resource Review. – Woodridge, USA, 2002. – Vol. 14 – № 2. – P. 189–203.
 16. Karetnikov, Sergey G. Recent trends in Lake Ladoga ice cover /Sergey G. Karetnikov, Mikhail A. Naumenko //Hydrobiologia, 2008. – Vol. 599, Issue 1. – P. 41–48. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8379-2_5.
 17. Kaszewski, B. M., Zmiany klimatu Polski w pracach polskich klimatologów / B. M. Kaszewski Żmudzka // Przegląd Geofizyczny, 2015. – Z. 3-4. – S. 217–235.
 18. Кирвель, П. И. Особенности ледового режима озёр Беларуси / П. И. Кирвель // Вес. Беларус. дзярж. пед. ун-та. Сер. 3, Фізіка. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2007. – № 3. – С. 59–65.
 19. Кирвель, П. И. Оценка толщины льда озёр Беларуси в условиях изменяющегося климата/ П. И. Кирвель //Науки о Земле и цивилизация: Материалы Международной молодежной конференции, 18-22 октября 2012 г., Санкт-Петербург. Том 1. Науки о Земле / Под общ. ред. Е. М. Нестерова. – СПб. : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2012. – С. 149–153.

20. Lemeshko, N., Gronskaia T., Changes in ice events and ice thickness on lakes of Russia in latitudes / N. Lemeshko, T. Gronskaia // Fresh Water Resources Management: materials of XXIII Nordic Hydrological Conference, 8-12 August 2004, Tallinn, Estonia vol. II.– Tartu: NHP Report, 2004. – No 48.– P. 680–684.
21. Magnuson, J. J. Historical trends in lake and river ice cover in the Northern Hemisphere / J. J. Magnuson, D. M. Robertson, B. J. Benson, R. H. Wynne [and others] // Science, 2000. – Vol. 289, Issue 5482. – P. 1743–1746.
22. Marsz, A. Oscylacja Północnego Atlantyku a temperatura powietrza nad Polską. / A. Marsz, A. Styszyńska // Wyższa Szkoła Morska w Gdyni, 2001, Gdynia. – 107 s.
23. Marszelewski, W. Spatial Diversity of the ice cover on the lakes of the European Lowland in the winter season 2003/2004/ W. Marszelewski, R. Skowron // Limnological Review. – Cieszyn, 2005. – Vol. 5(5). – P. 155–165.
24. Paślawski, Z. Złodzenie jezior w Polsce / Z. Paślawski // Przegląd Geofizyczny, 1982. – Z. 27(1–2). – S. 79–92.
25. Przybylak, R. Wpływ Oscylacji Północnoatlantyckiej i Arktycznej na warunki termiczne chłodnej pory roku w Polsce w XVI-XX wiekach / R. Przybylak, G. Wójcik, K. Marciniak // Przegląd Geofizyczny, 2003. – Z. 68(1–2). – S. 61–74.
26. Reinart, A. Ice conditions of a large shallow lake (Lake Peipsi) determined by observations, an ice model, and satellite images / A. Reinart. O. Pärn // Proceedings of the Estonian Academy of Sciences, Biology and Ecology. – Tallinn, Estonia, 2006. – Vol. 55 – № 23. – P. 243–261.
27. Сало, Ю. А. Многолетняя изменчивость ледового режима Онежского озера под влиянием изменений климата / Ю. А. Сало, Л. Е. Назарова // Известия Русского географического общества, 2011. – Т. 143. – № 3. – С. 50–54.
28. Skowron, R. Changeability of the ice cover on the lakes of northern Poland in the light of climatic changes / R. Skowron // Bulletin of Geography, Physical Geography Series. – Toruń, 2009. – No 1 – P. 103–124. <https://doi.org/10.2478/2312>.
29. Skowron, R. Ice phenomena in investigations of Polish lakes / R. Skowron // Bulletin of Geography, Physical Geography Series. – Toruń, 2021. – No 20 – P. 15–29. <https://doi.org/10.2478/34938>.
30. Sobolewski, W. Baza danych jezior Polski i jej wykorzystanie w badaniach limnologicznych / W. Sobolewski, D. Borowiak, M. Borowiak, R. Skowron (ed.) // Uniwersytet Marii Curie Skłodowskiej, Wydział Nauk o Ziemi i Gospodarki Przestrzennej. – Lublin: Picador, 2014. – 198 s.
31. Vuglinsky, V. S. Extremely early and late dates of lake freezing and ice break-up in Russia / V. S. Vuglinsky // Verh. Internat. Verein. Limnol, 2000. – Vol. 27. – P. 2793–2795.
32. Vuglinsky V. S. Long-term characteristics of ice events and ice thickness on the largest lakes and reservoirs of Russia / V. S. Vuglinsky, T. P. Gronskaia, N. A. Lemeshko // «Ice in the Environment»: Proc. of 16th Inter. Symp. on Ice, 2002. – Vol 3. – P. 80–86.
33. Weyhenmeyer, Gesa A. Large geographical differences in the sensitivity of ice-covered lakes and rivers in the Northern Hemisphere to temperature changes / Gesa A. Weyhenmeyer, David M. Livingstone, Markus Meili, Olaf Jensen // Global

Change Biology. – Vol. 17 – № 1. – P. 268–275. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02249.x>.

34. Yoo, J. Trends and fluctuations in the dates of ice break-up of lakes and rivers in Northern Europe: the effect of the North Atlantic Oscillation / J. Yoo, P. D'Odorico // Journal of Hydrology. – Vol. 268, Issue 1. – P. 100–112. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00161-0](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00161-0).

УДК 631.432.1

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ УРОВНЕЙ ГРУНТОВЫХ ВОД В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА НА ПРИМЕРЕ ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО ЗАПОВЕДНИКА

Л. М. Китаев¹, В. А. Аблеева²

¹Институт географии РАН, Москва, Россия, lkitaev@mail.ru

²Приокско-Террасный государственный природный биосферный заповедник, пос. Данки, Россия, sfm@mail.ru

Аннотация

На примере Приокско-Террасного заповедника выявлена локальная структура сезонной и многолетней изменчивости уровней грунтовых вод на фоне изменчивости метеорологического режима. Оценена амплитуда различий уровней в связи с прежде всего неоднородностью рельефа и растительного покрова, при тесной коореляционной связи сезонного хода уровней различных скважин. Основная особенность как сезонного так и многолетнего хода уровней грунтовых вод состоит в их незначительной вариабельности во времени – ввиду отсутствия притока влаги с поверхности и, соответственно, отсутствия корреляционной связи с ходом приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов. Вместе с тем, наблюдается значимая тенденция многолетнего повышения уровней грунтовых вод на фоне роста приземной температуры воздуха, увеличения осадков и снегозапасов. Полученные в заповедных условиях результаты актуальны для уточнения региональных оценок состояния грунтовых вод, а также для верификации численных моделей – в условиях антропогенного воздействия на водные ресурсы.

Ключевые слова: уровни грунтовых вод, метеорологические характеристики, холодный сезон года, корреляционные связи, сезонные и многолетние изменения.

FEATURES OF LOCAL VARIABILITY OF GROUNDWATER LEVELS IN THE COLD PERIOD OF THE YEAR ON THE EXAMPLE OF THE PRIOKSKO-TERRACE RESERVE

L. M. Kitaev, V. A. Ableeva

Abstract

The local structure of seasonal and long-term variability of groundwater levels against the background of the variability of the meteorological regime was revealed on the example of the Prioksko-Terrasny Reserve. The amplitude of differences in levels is estimated in connection with, first of all, the heterogeneity of the relief and

vegetation cover, with a close correlation between the seasonal course of the levels of various wells. The main feature of both the seasonal and long-term course of groundwater levels is their slight variability over time due to the lack of moisture inflow from the surface and, accordingly, the absence of a correlation with the course of air temperature, precipitation and snow storages. At the same time, there is a significant tendency for a long-term increase in groundwater levels against the background of an increase in air temperature, an increase in precipitation and snow storages. The results obtained in protected areas are relevant for refining regional estimates of the state of groundwater, as well as for verifying numerical models under the conditions of anthropogenic impact on water resources.

Keywords: groundwater levels, meteorological characteristics, cold season, correlations, seasonal and long-term changes.

Введение. Глобальное потепление последних десятилетий приводит к изменению осадков и испарения и, соответственно, к изменению структуры годового речного стока. На территории Восточно-Европейской равнины, в частности, происходит многолетнее снижение объемов весеннего половодья рек при росте расходов межени: через усиление в зимний период фильтрации поверхностной влаги в почву и увеличения подземой составляющей речного стока на фоне увеличения числа зимних оттепелей при повышении приземной температуры воздуха. Так, в частности, для Восточно-Европейской равнины во второй половине 20 в. отмечалось повышение грунтовых вод: по данным С. А. Журавина и др. (Журавин и др., 2020), на Нижнедевицкой воднобалансовой станции за период 1978-1990 гг. уровень поднялся на 1 м, на воднобалансовой станции Каменная Степь в период 1978-2008 гг. уровни выросли на 2.4-2.8 м с последующим снижением на 0.5-0.8 м и стабилизацией.

Таким образом, исследование современного состояния грунтовых вод актуально для оценки структурных изменений водного баланса в условиях современного климата и при значительном антропогенном воздействии на водные ресурсы – при том, что на территории Европы грунтовые воды составляют 36.2 % от общего речного стока (Джамалов и др. 2017). Обобщения особенностей современной трансформации подземных вод и их роли в водном балансе достаточно подробно рассматриваются в литературе в связи с изменениями климата (Вершинина и др., 1985; Джамалов и др., 2013; Джамалов и др. 2017; Куделин 1960; Brunner, 2009; и др.), геологическими особенностями территории (Гринеvский, 2021; Ланге 1969, Шестаков, Поздняков, 2003; и др.), рельефом и растительностью (Ланге, 1939; Русаленко, Филон, 2008 и др.). Подробно также исследуются техногенные причины ухудшения качества грунтовых вод (Абдрахманов, Коммисаров, 2018; и др.; Дюкарев, Пологова, 2009; Серикова и др., 2014; и др.).

Основной задачей проводимых исследований является оценка на примере территории Приокско-Террасного заповедника значимости локальной

изменчивости уровней грунтовых вод на основе уникальных данных, полученных авторами в ходе полевых работ – для последующего применения в региональных обобщениях и верификации модельных алгоритмов.

Методические подходы и исходная информация. В качестве основных факторов изменчивости уровней грунтовых вод выделяются метеорологических режим (приземная температура воздуха, осадки и снегозапасы, изменчивость атмосферного давления), характеристики почвы (температура, состав), рельеф и геологическое строение подстилающих пород.

Динамика уровней, в соответствии изменениями метеорологического режима по сезонам, неоднородна и, в качестве первого этапа исследований на территории Приокско-Террасного заповедника (далее – Заповедник) проведен вблизи сезонной и многолетней динамики уровня грунтовых вод холодного сезона – с октября по апрель включительно за 1991-2016 гг. В ходе исследований использованы декадные данные наблюдений по закрепленным на местности скважинам:

№ 1, 2, 4 и 93 – квартал 36, лесной массив с преобладанием пород на песчаных и легкосуглинистых почвах, приводораздельный участок;

№ 95 – квартал 34, открытое пространство (Долы) с луговой растительностью на средне- и тяжелосуглинистых почвах, понижение рельефа вблизи русла р. Оки;

№ 97 – квартал 5, лесной массив с преобладанием лиственных пород на средне- и тяжедосуглинистых почвах, приводораздельный участок.

Характер изменений уровней грунтовых вод рассматривался на фоне сезонного и многолетнего хода метеорологических характеристик – приземной температуры воздуха и осадков, а также водного эквивалента снега (далее – снегозапасы). Наблюдения метеорологических характеристик проводились по стандартным методикам Росгидромета: приземная температура воздуха и осадки ежесуточно с последующим пересчетом в средние и суммарные за декаду; снегозапасы – ежедекадно по трем закрепленным на местности снегомерным маршрутам в лесных массивах с преобладанием хвойных и лиственных пород (кварталы 36 и 5), а также на открытом пространстве (Долы) (квартал 34). Расположение пунктов наблюдений в непосредственной близости друг от друга позволяет считать результаты сравнения временной изменчивости исследуемых характеристик репрезентативными.

Сезонная изменчивость характеристик. Особенности сезонной изменчивости приземной температуры воздуха и осадков показаны на рисунке 1, количественные показатели – в таблице 1 (осредненные среднемноголетние). Минимальные значения температуры воздуха наблюдаются в январе при сезонном диапазоне $-8.8 - 6.8$ °С и среднем значении за сезон -2.0 °С. Ход осадков достаточно равномерен, при средней сезонной сумме 385 мм и сезонном разбросе 225-535 мм.

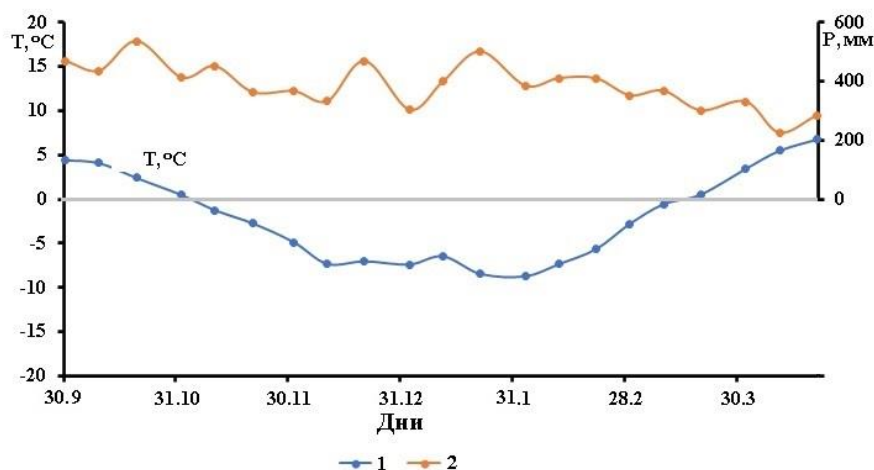


Рисунок 1 – Сезонные изменения среднемноголетних средней приземной температуры воздуха (1) и суммарных осадков (2)

Таблица 1. Сезонная изменчивость метеорологических характеристик холодного периода года

Характеристика	Среднее	Минимум	Максимум
Приземная температура воздуха (°C)	-2.0	-8.8	6.8
Сумма осадков (мм)	385	225	535

Максимальные снеготпасы на территории Заповедника фиксируются в конце февраля - начале марта, устойчивый снежный покров формируется в начале ноября, разрушается к третьей декаде апреля (рисунок 2). Наибольшие снеготпасы характерны для лесных массивов с преобладанием лиственных пород и открытых пространств, наименьшие – в лесных массивах с преобладанием хвойных пород. При этом, внутрисезонная динамика снеготпасов разных участков различается мало – коэффициент корреляции составляет 0.98.

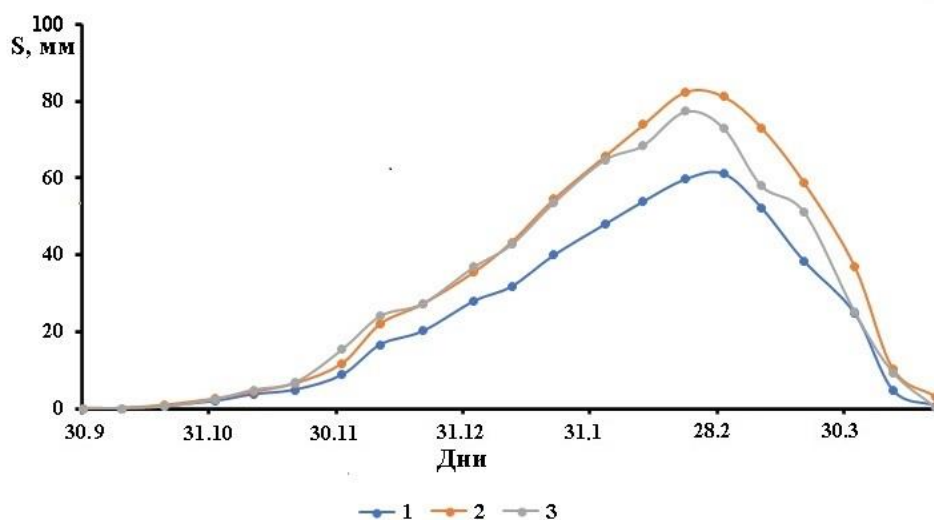


Рисунок 2 – Сезонные изменения снеготпасов в лесах с преобладанием хвойных (1) и лиственных (2) пород - кварталы № 36 и № 5, а также на открытом пространстве (долы) (3) – квартал № 34

Изменчивость уровней грунтовых вод в холодный сезон мала, повсеместно в диапазоне нескольких миллиметров при малой величине стандартного отклонения (рисунок 3, таблица 2) – сказывается снижение притока влаги от поверхности в связи с отсутствием жидких осадков и промерзанием почвы. Наибольшая глубина залегания грунтовых вод отмечена в лиственном лесу с преобладанием лиственных пород, скважина № 97, наименьшая на открытом пространстве (Долы), скважина № 95 – расположенных, соответственно рельефу, в наиболее высокой и низкой точках Заповедника.

Таблица 2 – Сезонная изменчивость уровней грунтовых вод холодного периода года (см)

Территория / скважина		Среднее	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум
Лесные массивы с преобладанием хвойных пород, квартал № 36	Скв. № 1	-6.20	0.089	-6.31	-6.03
	Скв. № 2	-4.71	0.027	-4.77	-4.68
	Скв. № 4	-6.40	0.007	-6.41	-6.38
	Скв. № 93	-4.61	0.044	-4.62	-4.60
Лесные массивы с преобладанием лиственных пород, квартал № 5	Скв. № 95	-7.81	0.008	-7.83	-7.80
Открытое пространство (Долы), квартал № 36	Скв. № 97	-4.16	0.006	-4.17	-4.15

Близко расположенные, в пределах одного квартала, скважины в лесном массиве с преобладанием хвойных пород в холодный период имеют разницу уровней в 1.5-1.8 см, в основном соответственно перепадам рельефа. Сезонный ход уровней грунтовых вод разных лесных участков достаточно синхронен – с коэффициентами корреляции 0.73-0.87, при отсутствии тесной корреляции с динамикой уровней на открытом пространстве.

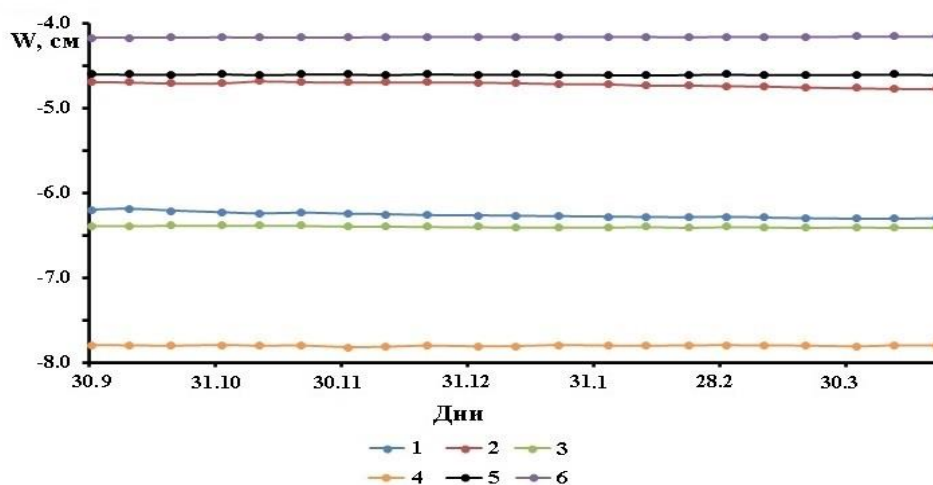


Рисунок 3 – Сезонные изменения уровней грунтовых вод (W, см) в лесах с преобладанием хвойных пород (квартал № 36) – скважины 1 (1), 2 (2), 4 (3), 93 (4); в лесах с преобладанием лиственных пород (квартал № 97) – скважина 97 (5); на открытом пространстве (квартал № 34)

Многолетняя изменчивость характеристик. Рисунок 4 и данные в таблице 3 иллюстрируют особенности многолетних изменений приземной температуры воздуха и осадков: при среднемноголетних значениях -2.1°C и 311 мм, стандартном отклонении 1.55°C и 55.89 мм, характеристики имеют значимые коэффициенты линейных трендов $0.328^{\circ}\text{C} / 10$ лет и 0.377 мм / 10 лет.

Таблица 3 – Многолетняя изменчивость метеорологических характеристик холодного периода года (1991-2016 гг.)

Характеристика	Среднее	Стандартное отклонение	Коэффициенты линейного тренда
Среднесезонная приземная температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{C} / 10$ лет)	-2.1	1.55	0.328
Сезонная сумма осадков (мм, мм, мм / 10 лет)	311	55.89	0.377

Коэффициенты линейного тренда значимы на уровне 95%.

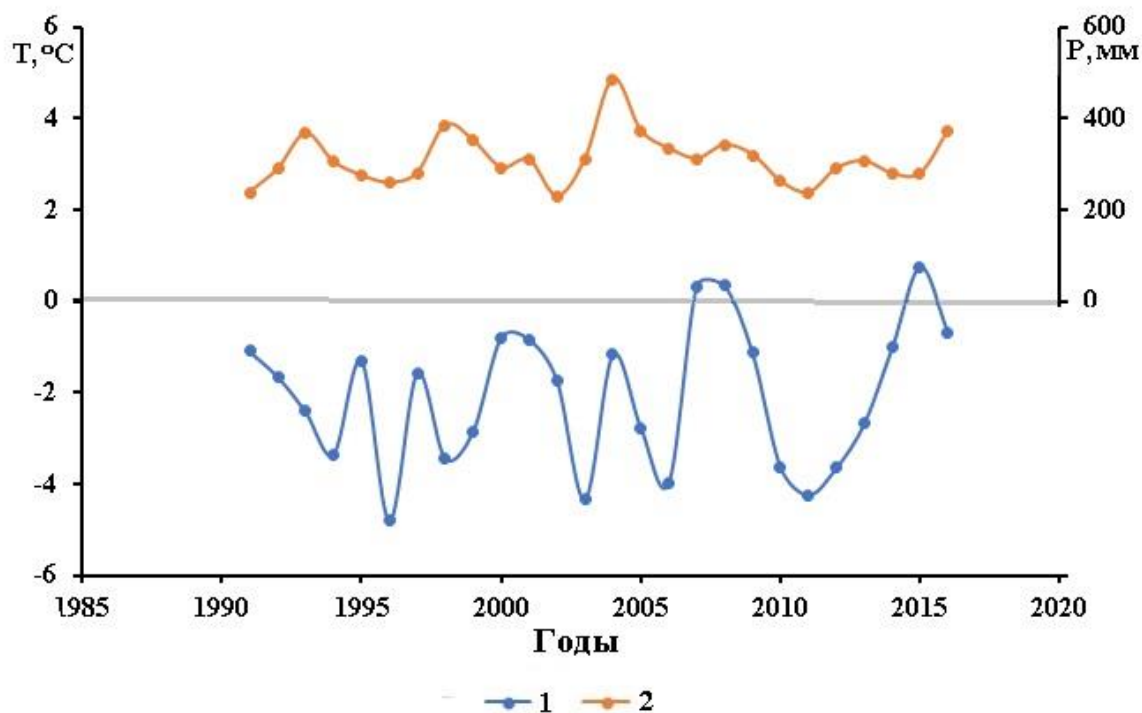


Рисунок 4 – Многолетние изменения приземной температуры воздуха (1) и суммарных осадков (2) холодного сезона

Среднемноголетние снегозапасы лесных массивов с преобладанием лиственных пород и снегозапасы на открытом пространстве превышают снегозапасы лесных массивов с преобладанием хвойных пород в 1.25 - 1.35 раза, различия величины стандартного отклонения невелики, 1.5-1.7 см (рисунок 5, таблица 4). Коэффициенты линейных трендов снегозапасов лесных массивов положительны, значимы и близки – $8.136 - 8.530$ мм /10 летБ при отсутствии значимых многолетних тенденций в изменчивости снегозапасов на открытом пространстве.

Таблица 4 – Многолетняя изменчивость снегозапасов (1991-2016 гг.)

Характеристика / территория	Среднее	Стандартное отклонение	Коэффициенты линейного тренда
Снегозапасы (мм, мм, мм /10 лет)			
Лесные массивы с преобладанием хвойных пород	48	12.84	8.136
Лесные массивы с преобладанием лиственных пород	64	14.17	8.530
Открытые пространства	60	15.87	3.234
Количество дней с устойчивым снежным покровом (дни, дни, дни / 10 лет)			
Лесные массивы с преобладанием хвойных пород	125	28.37	-11.050

Количество дней с устойчивым снежным покровом характерных участков различается мало – 125-128 дней, равно как мало различаются отрицательные величины их коэффициентов линейных трендов в лесных массивах - -11.050 и - 10.397 мм / 10 лет; значимые многолетние тенденции изменений продолжительности залегания устойчивого снежного покрова на открытых пространствах отсутствуют.

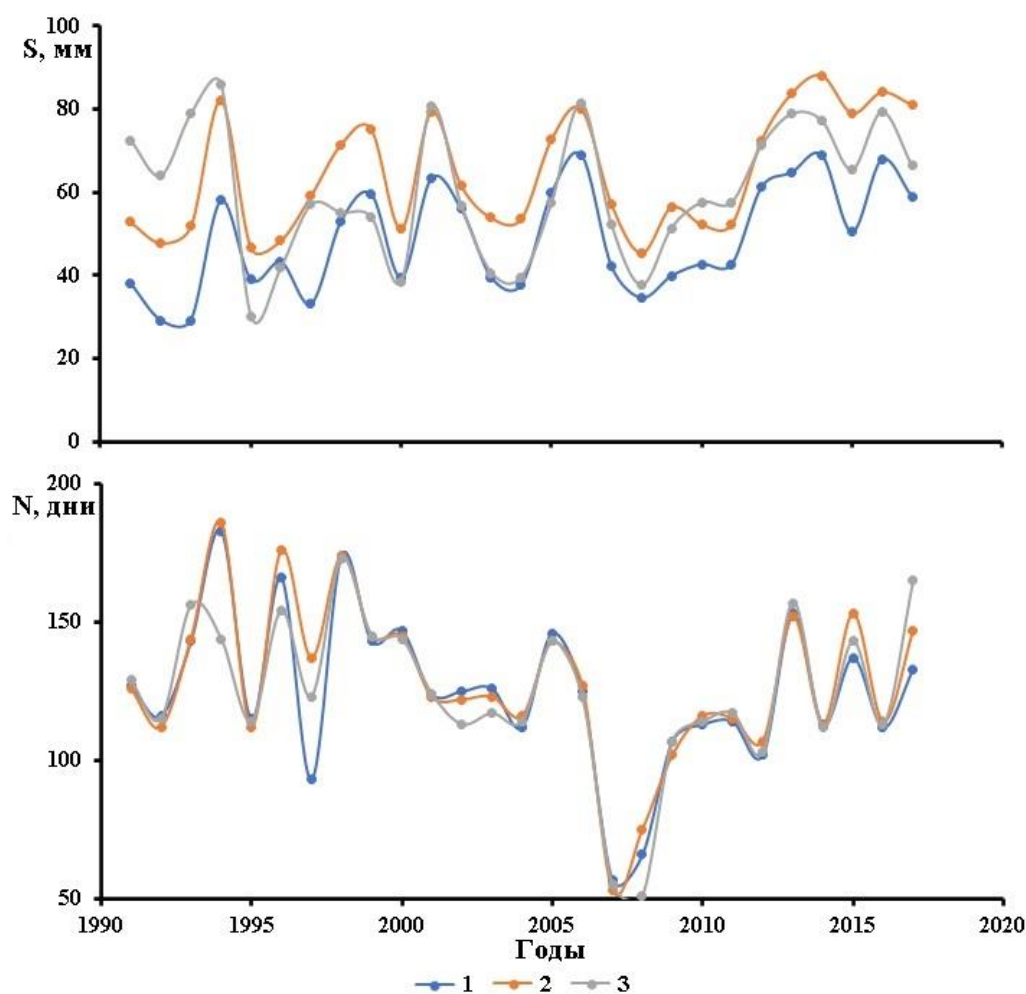


Рисунок 5 – Многолетние изменения средних за сезон снегозапасов (S мм) и количеством дней с устойчивым снежным покровом (N, дни) в лесах с преобладанием хвойных (1) и лиственных (2) пород - кварталы № 36 и № 5, а также на открытом пространстве (долы) – квартал № 34

Особенности многолетнего хода уровней грунтовых вод аналогичен их сезонным изменениям (рисунок 6, таблица 5). Разброс значений в многолетнем ходе также невелик, в диапазоне долей сантиметра. Изменчивость уровней грунтовых вод (стандартное отклонение) в холодный сезон мала, повсеместно в диапазоне нескольких миллиметров, равно как величина стандартного отклонения – сказывается снижение притока влаги от поверхности в связи с отсутствием жидких осадков и промерзанием почвы. Наибольшая среднемноголетняя глубина залегания грунтовых вод характерна для лесных массивов с преобладанием лиственных пород, скважина № 97 – -7.84 см, в одном из наиболее возвышенных мест Заповедника; наименьшая глубина зафиксирована на открытом пространстве (Долы), скважина № 95 – - 4.16 см, в наиболее низком месте Заповедника, вблизи русла р. Оки. Близко расположенные (в пределах одного квартала) скважины в лесном массиве с преобладанием хвойных пород в холодный период имеют разницу уровней в 1.5-1.8 см, что также соответствует перепадам рельефа.

Стандартное отклонение в целом не превышает 0.20 см, будучи максимальным на открытом пространстве (Долы), вблизи русла р. Ока (0.288 см) при значениях в лесных массивах 0.096-0.197 см. Вместе с тем, количество существенных значений стандартного отклонения (более 0.05 см) характерны для лесного массива с преобладанием хвойных пород (рис. 6).

Устойчивое многолетнее значимое повышение уровней грунтовых вод отмечено повсеместно, с максимумами в лесных массивах с преобладанием лиственных пород и на открытом пространстве – 0.224 - 0.287 см / 10 лет.

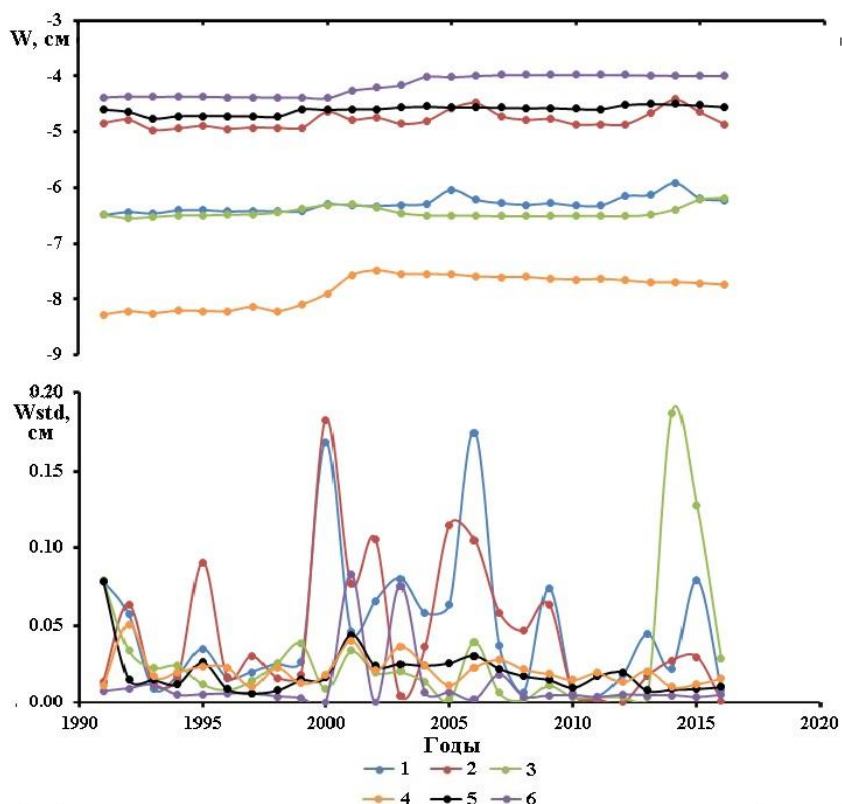


Рисунок 6 – Многолетние изменения уровней грунтовых вод в зимний период (W , см) и их стандартного отклонения (W_{std} , мм) в лесах с преобладанием хвойных пород (квартал № 36) – скважины 1 (1), 2 (2), 4 (3), 93 (4); в лесах с преобладанием лиственных пород (квартал № 97) – скважина 97 (5); на открытом пространстве (квартал № 34) – скважина 34 (6)

Таблица 5 – Многолетняя изменчивость уровней грунтовых вод холодного периода года (1991-2016 гг.)

Территория / скважина		Среднее, мм	Стандартное отклонение, мм	Коэффициенты линейного тренда, мм / 10 лет
Лесные массивы с преобладанием хвойных пород, квартал № 36	Скв. № 1	-6.30	0.135	0.138
	Скв. № 2	-4.79	0.146	0.090
	Скв. № 4	-6.45	0.096	0.042
	Скв. № 93	-4.60	0.097	0.079
Лесные массивы с преобладанием лиственных пород, квартал № 5	Скв. № 95	-7.84	0.096	0.287
Открытые пространства (Долы), квартал № 36	Скв. № 97	-4.16	0.288	0.224

Коэффициенты линейного тренда значимы на уровне 95%.

Выводы. Рассмотрены особенности локальной неоднородности грунтовых вод в холодный сезон года – на характерных участках Приокско-Террасного заповедника в период 1991-2016 гг. Выявлена незначительная сезонная и многолетняя вариабельность уровней, в пределах нескольких сантиметров, при малых значениях стандартного отклонения и значимых положительных трендах многолетних изменений. Максимальные пространственные различия уровней соответственно рельефу составляет 3.7 мм – для скважин, расположенных в одной из высоких точек Заповедника (лесной массив с преобладанием лиственных пород) и открытым пространством (Долы), вблизи русла р. Ока. Для близко расположенных скважин в лесном массиве с преобладанием хвойных пород разница уровней лежит в диапазоне 1.5-1.8 см, также соответственно перепадам рельефа. Сезонная динамика уровней грунтовых вод разных участков имеет тесную корреляционную связь (0.73-0.87), при незначительных коэффициентах корреляции для многолетнего хода и отсутствии корреляции с ходом приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов. Изменения уровней грунтовых вод происходят на фоне значимого многолетнего увеличения приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов, при малоразличимых по территории вариаций значений коэффициентов линейного тренда – и при неоднородности величины снегозапасов соответственно особенностям растительного покрова.

Таким образом, для холодного периода года, на примере Приокско-Террасного заповедника, выявлены следующие локальные закономерности изменчивости уровней грунтовых вод:

1. Выявлена незначительная сезонная и многолетняя вариабельность уровней грунтовых вод, в пределах нескольких сантиметров, при малых значениях стандартного отклонения и значимых положительных трендах многолетних изменений.

2. Многолетнее значимое увеличение уровней грунтовых вод соответствует многолетнему увеличению приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов, заметно различаясь абсолютными значениями в пространстве прежде всего в соответствии с неоднородностью рельефа.

3. Сезонная и многолетняя динамика уровней невелика ввиду отсутствия заметного поступления влаги с поверхности в почву зимой, корреляционная связь с динамикой приземной температуры воздуха, осадков и снегозапасов отсутствует.

4. Ввиду малой сезонной изменчивости уровней грунтовых вод в холодный период года, следует считать, что основная их изменчивость проявляется в весенне-летний период. В связи с чем, дальнейшие этапы наших исследований будут направлены на изучение связи изменчивости уровней грунтовых вод и метеорологических характеристик для теплого сезона и года в целом.

Полученные в заповедных условиях результаты актуальны для уточнения региональных оценок состояния грунтовых вод, а также для верификации численных моделей – в условиях антропогенного воздействия на водные ресурсы.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке темы 0148-2019-0009 «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России» Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук.

Список цитированных источников

1. Абдрахманов, Р. Ф. Мониторинг грунтовых вод в бассейне реднего течения реки белой, используемых для локального водоснабжения / Р. Ф. Абдрахманов, А. В. Комиссаров // Строительство и архитектура. – № 5. – 2018. – С. 7–13. DOI 10.26897/1997-6011/2018-5-7-13.
2. Гриневский, С. О. Гидрогеодинамическое моделирование взаимодействия подземных и поверхностных вод. – М. : ИНФРА-М, 2021. – 152 с.
3. Вершинина, Л. К. Оценка потерь талых вод и прогнозы объема стока половодья (в равнинных районах Европейской территории СССР). / Л. К. Вершинина, О. И. Крестовский, И. Л. Калюжный, К. К. Павлова. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 189 с.
4. Джамалов, Р. Г. Изменения поверхностного и подземного стока рек России и их режимов в условиях нестационарного климата / Р. Г. Джамалов, Н. Л. Фролова, М. Б. Киреева, А. А. Телегина // Вестник РФФИ. – 2013. – Т. 6. – № 78. – С. 34–42.
5. Джамалов, Р. Г. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние / Р. Г. Джамалов, М. Б. Киреева, А. Е. Косолапов, Н. Л. Фролова // М. Издательство ГЕОС, 2017. – 205 с.
6. Дюкарев, А. Г. Водный режим почв в зоне влияния Томского водозабора / А. Г. Дюкарев, Н. Н. Пологова // Вестник Томского государственного университета. – 2009. – Т. 324. – С. 363–371.
7. Журавин, С. А. Многолетние изменения процессов влагооборота по данным воднобалансовых станций в центральной части бассейна р. Дон / С. А. Журавин, М. Л. Марков, Е. В. Гуревич // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47. – № 6. – С. 729–741.
8. Куделин, Б. И. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод. – М. : Из-во МГУ, 1960. – 344 с.
9. Ланге, О. К. Геоморфология и грунтовые воды // Труды Лаборатории гидрогеологических проблем им. Ф. П. Саваренского АН СССР. – 1949. – Т. 2. – С. 72–80.
10. Ланге, О. К. Гидрогеология. – М. : Высшая школа, 1969. – 365 с.

11. Русаленко, А. И. Глубина залегания и амплитуда колебания уровня грунтовых вод в лесных фитоценозах / А. И. Русаленко, Д. И. Филон // Труды БГТУ. Серия I, Лесное хозяйство. – Минск : БГТУ, 2008. – Вып. XVI. – С. 243–247.
12. Серикова, Е. Н. Математическое моделирование изменения уровней грунтовых вод в городах с учетом ведущих режимообразующих факторов / Е. Н. Серикова, Е. А. Стрельникова, В. В. Яковлев // Вестник ХНТУ. – 2014. – № 4(51). – С. 186–194.
13. Чендев, Ю. Г. Реакция почв и других компонентов природной среды на климатические изменения разной периодичности на юге Среднерусской возвышенности / Ю. Г. Чендев, А. А. Тишков, В. И. Савин, М. Г. Лебедева, А. Б. Соловьев // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2020. – № 84(3). – С. 427–440. DOI: 31857/S258755662003005X.
14. Шестаков, В. М. Геогидрология / В. М. Шестаков, С. П. Поздняков. – М. : Академкнига, 2003. – 173 с.
15. Brunner, P. Hydrogeologic controls on disconnection between surface water and groundwater / P. Brunner, C. T. Simmons, P. G. Cook // Water Resour. – 2009. – Vol. 45. – W01422. DOI: 10.1029/2008WR006953.

УДК 504.3.064-034

УРОВНИ И ТРЕНДЫ СОДЕРЖАНИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА И ДИОКСИДА АЗОТА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ В БЕЛАРУСИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Ю. Г. Кокош, О. Ю. Круковская

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
y-kokosh@mail.ru

Аннотация

В статье представлены результаты анализа многолетних рядов (2006–2016 гг.) среднемесячного содержания в атмосферном воздухе в Беларуси формальдегида и диоксида азота по данным измерений спектрометра OMI, размещённого на спутнике Aura. Изучены пространственное распределение, межгодовые и внутригодовые тренды. Представлены результаты совместного анализа данных дистанционного зондирования и наземных наблюдений на постах сети мониторинга в городах, выполнен корреляционный и регрессионный анализ.

Ключевые слова: диоксид азота, формальдегид, загрязнение воздуха, дистанционное зондирование, содержание загрязняющих веществ.

FORMALDEHYDE AND NITROGEN DIOXIDE LEVELS AND TRENDS IN ATMOSPHERIC AIR IN BELARUS ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA

Y. G. Kokosh, O. Y. Krukowskaya

Abstract

The article presents the results of the analysis of long-term series (2006–2016) of the average monthly content of formaldehyde and nitrogen dioxide in the atmospheric

air in Belarus according to the data of the OMI spectrometer located on the Aura satellite. Spatial distribution, inter-annual and intra-annual trends are studied. The results of a joint analysis of remote sensing data and ground-based observations at monitoring network posts in cities are presented, a correlation and regression analysis is performed.

Keywords: nitrogen dioxide, formaldehyde, air pollution, remote sensing, pollutant content.

Введение. В настоящее время мониторинг загрязнения атмосферного воздуха в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) является основным источником информации о состоянии воздушного бассейна в городах и других населенных пунктах. Однако редкая сеть наблюдений существенно осложняет выявление пространственной структуры загрязнения атмосферного воздуха, в особенности на территориях вне городов – а это большая часть Беларуси. В то же время существует значительная потребность в такой информации.

Существенно дополнить результаты наземного мониторинга атмосферного воздуха позволяют дистанционные методы, в первую очередь, измерения с помощью приборов, установленных на космических аппаратах. Используются спектрометры, работающие в ультрафиолетовом и видимом диапазоне, и позволяющие получить глобальные карты содержания диоксида азота, формальдегида, метана, озона, оксида углерода, диоксида серы и некоторых других веществ в тропосфере различного осреднения (суточные, месячные, годовые).

В настоящее время спутниковая информация в Беларуси практически не используется в регулярной практике для характеристики загрязнения атмосферного воздуха, не разработана для этого нормативная и методическая база. Исследования позволят создать научную основу для последующей разработки нормативных технических актов, позволяющих использовать данные спутникового зондирования для целей мониторинга воздушной среды.

В качестве анализируемых загрязняющих веществ взяты диоксид азота и формальдегид, как одни из приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха городов Беларуси. Данные соединения характеризуются высокой активностью и влияют на физико-химические процессы в атмосфере и, как следствие, на содержание других загрязняющих веществ. Они играют немалую роль в образовании фотохимического смога [1].

Диоксид азота характеризуется продолжительным сроком жизни в атмосфере, в значительной степени непосредственно переносится на большие расстояния. Вещество участвует в процессах образования вторичных загрязнителей, закисляющих и эвтрофирующих соединений, которые осаждающихся на значительных расстояниях от источников выбросов.

Годовое поступление диоксида азота в атмосферный воздух в Беларуси оценивается в 142,1 тыс. т (2015 г.). Из общего количества 59 % приходится на передвижные источники (в том числе 30 % – на дорожный автомобильный транспорт), 32 % – на стационарные источники в обрабатывающей промышленности и централизованной энергетике [2].

Формальдегид является промежуточным продуктом окисления многих классов летучих органических соединений, данное загрязняющее вещество может служить индикатором интенсивности фотохимических процессов и загрязнения атмосферы летучими органическими соединениями.

В течение года в атмосферный воздух Беларуси поступает около 3,5 тыс. т (2015 г.) формальдегида от первичных антропогенных источников. Наибольшие антропогенные выбросы формальдегида связаны с передвижными источниками (87 %) и стационарным сжиганием топлива (11 %). Фотохимическое образование данного соединения значительно превышает выбросы от первичных источников и достигает ориентировочно 29-30 тыс. тонн в год [3].

Материалы и методы. В данном исследовании для анализа содержания формальдегида и диоксида азота в атмосферном воздухе в Беларуси по данным дистанционного зондирования использованы среднемесячные данные о содержании формальдегида и диоксида азота за 2006-2016 гг. в атмосферной колонне по данным спектрометра OMI. Пространственное разрешение анализируемых данных для формальдегида составило 0,25x0,25 град, для диоксида азота – 0,125x0,125 град [4, 5]. Для получения средних значений данных дистанционного зондирования в Беларуси выполнено арифметическое осреднение значений для ячеек сектор исходных данных хотя бы частично покрывающих территорию страны.

Для сопоставления с данными наземных наблюдений использованы показатели среднемесячных и среднегодовых концентраций диоксида азота и формальдегида, полученных на станциях с ручным пробоотбором для 18 городов Беларуси (Бобруйск, Брест, Витебск, Гомель, Гродно, Минск, Могилев, Мозырь, Новогрудок, Новополоцк, Орша, Пинск, Полоцк, Речица, Светлогорск) [6]. Сопоставление содержания загрязняющих веществ в тропосфере над городами принято по среднему значению ячеек, покрывающих территорию изучаемых населённых пунктов.

Данные о среднемесячном содержании рассматриваемых загрязняющих веществ характеризуются различным покрытием в зависимости от сезона. В теплый период года исходных данных достаточно для получения среднемесячных значений в среднем для всей территории страны как для формальдегида, так и для диоксида азота. В зимний период высокая частота облачности во время выполнения зондирования приводит к высокому числу пропусков, что не позволяет получать данные для формальдегида, достаточные для вычисления обоснованных среднемесячных. Покрытие территории Беларуси в зимний период для диоксида азота также не сплошное, однако, как правило, достаточное для выполнения осреднений. В анализ включены все доступные среднемесячные значения.

Результаты и обсуждение. Среднемесячное содержание диоксида азота в Беларуси по данным дистанционного зондирования варьирует в диапазоне от 0,01 до $44,87 \times 10^{15}$ мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$. Максимальные годовые значения концентраций в рассмотренный период варьируют в широком диапазоне от $9,81 \times 10^{15}$ мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$ в 2013 г. до $44,87 \times 10^{15}$ мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$ в 2009 г. При этом среднее и медианное значение по территории изменяется слабо, максимумы формируются

под действием сверхвысоких значений на отдельных участках в отдельные периоды. Среднее содержание варьирует в диапазоне $1,38-1,91 \times 10^{15}$ мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$, медианное – $1,20-1,37 \times 10^{15}$ мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$.

Годовое содержание NO_2 в тропосфере (осредненное по всей территории) по всей территории в рассматриваемом периоде характеризуется неустойчивым сокращением. В 2006 г. значение данного показателя составило $1,75 \times 10^{15}$ мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$, в 2016 г. – на $0,05 \times 10^{15}$ мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$ или 2,9% меньше. В отдельные годы в течение этого периода средняя концентрация возрастала до $1,90-1,91 \times 10^{15}$ мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$ (2010 и 2014 г.). Медианное содержание характеризуется более однородным рядом в этот период: значения варьировали в диапазоне $1,22-1,37 \times 10^{15}$ мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$. В отношении медианного содержания также отмечено более низкое содержание в 2016 г. по сравнению с 2006 г, однако статистически достоверного снижения данного показателя не отмечается.

В территориальной структуре, как правило, вне зависимости от сезона наблюдается поле повышенных концентраций над крупными городами (особенно в Минском районе). Кроме того, более высокие концентрации наблюдаются в юго-западной части страны. Максимальные среднемесячные значения содержания диоксида азота в тропосфере в Беларуси в рассматриваемый период достигали $44,87 \times 10^{15}$ мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$, что более чем в 20 раз выше предельного медианного значения.

Среднегодовое содержание формальдегида в тропосфере (осредненное по всей территории) характеризуется, наоборот, неустойчивым ростом за рассматриваемый период исследования. Среднегодовые концентрации формальдегида для домена за этот период варьировали в диапазоне от $5,55 \times 10^{15}$ мол./ см^2 в 2013 г. до $7,62 \times 10^{15}$ мол./ см^2 в 2007 г. В 2016 г. среднегодовое содержание формальдегида над территорией Беларуси составляло $7,22 \times 10^{15}$ мол./ см^2 , что на $0,79 \times 10^{15}$ мол./ см^2 или 12,3% выше значений 2006 г.

Среднемесячные концентрации формальдегида в Беларуси по данным дистанционного зондирования варьировали от 2,45 (в марте 2013 г.) до $12,17 \times 10^{15}$ мол./ см^2 (в августе 2014 г.). В территориальном распределении присутствует выраженная сезонность содержания НСНО в тропосфере.

За указанный период наиболее высокие концентрации формальдегида наблюдались чаще всего в юго-западной части Беларуси. Зафиксированный локальный максимум за период исследования составил $30,8 \times 10^{15}$ мол./ см^2 и зафиксированы в августе 2014 г. на юго-западе страны.

В годовом ходе содержания формальдегида наблюдается устойчивая тенденция к росту среднего содержания формальдегида в теплый период года и сокращению в холодный. Наиболее высокие среднемесячные концентрации чаще всего фиксируются в июле и августе. В отдельные годы минимальные и максимальные средние значения зафиксированы в другие месяцы.

Годовой ход среднего содержания NO_2 характеризуется устойчивой тенденцией к сокращению среднего содержания в теплый период года (обычно май-август) и повышению в холодный (декабрь-февраль). В отдельные годы минимальные и максимальные годовые средние значения наблюдаются в другие

месяцы. Как правило, увеличение максимального содержания сопровождается увеличением также и минимальных наблюдаемых значений.

В период с 2007 по 2010 г. отмечался рост максимальных среднемесячных концентраций, в последующие годы (исключая 2014 г.) максимальное среднемесячное содержание NO_2 в тропосфере не превышало на территории Беларуси $17,0 \times 10^{15}$ мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$. Минимальное содержание в течение всего рассмотренного периода не превышало $1,0 \times 10^{15}$ мол. $\text{NO}_2/\text{см}^2$ (рисунок 1).

Среднее содержание диоксида азота и формальдегида на территории страны в течение месяцев, для которых присутствуют результаты для каждого из параметров, не имеет между собой статистически значимой корреляции. При этом годовые экстремумы для рассматриваемых соединений наблюдаются в противоположные сезоны. Наиболее высоким значениям среднего содержания формальдегида в летние месяцы соответствует «плато» содержания диоксида азота. В свою очередь, в зимний период, когда наблюдаются наиболее высокие концентрации диоксида азота в толще атмосферы, результаты измерений содержания формальдегида, как правило, недостаточны для среднемесячных осреднений (рисунок 1).

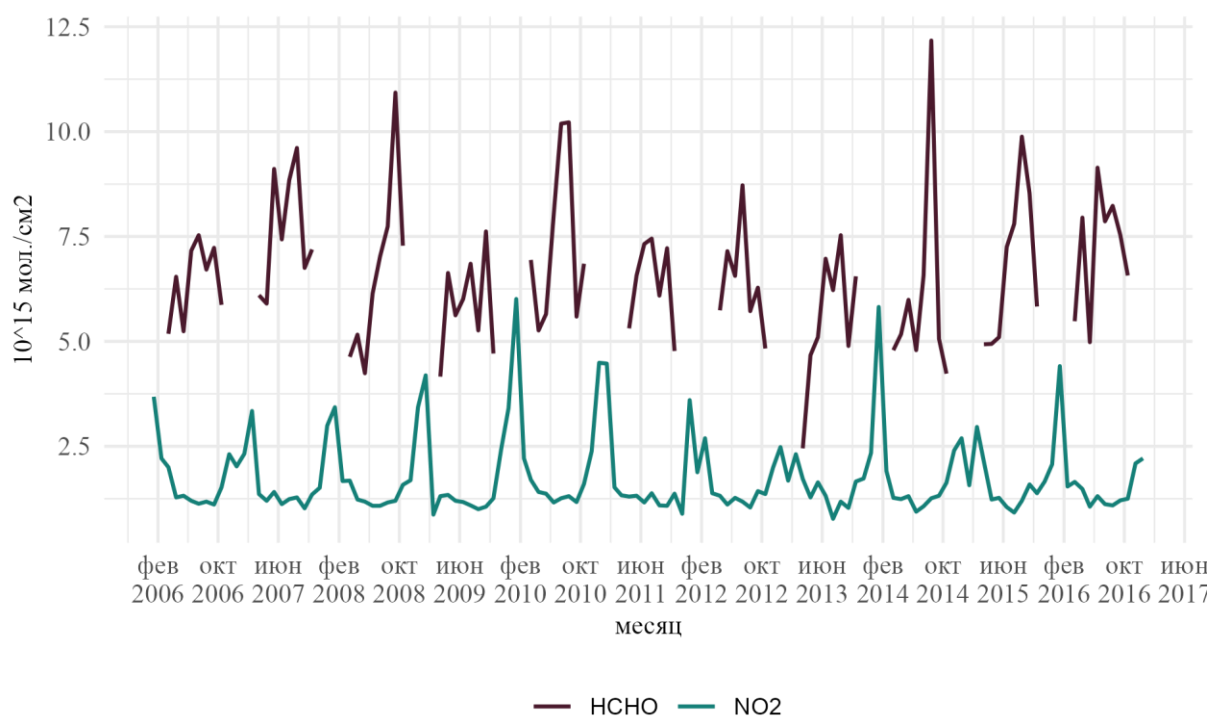


Рисунок 1 – Временные ряды средних месячных значений содержания формальдегида и диоксида азота в атмосферном воздухе по данным дистанционного зондирования

Из наблюдаемых сходств динамики можно отметить сезонные пики относительно (по сравнению с другими годами) низкой интенсивности, наблюдаемые в 2013 г. Сходство динамики противоположного направления наблюдалось в 2010 и 2014 гг., когда зимой наблюдались одни из наиболее высоких средних концентраций диоксида азота, а через полгода – формальдегида. Разнонаправленность

годового хода может быть объяснена различием соотношения категорий источников выбросов и их внутригодовой динамики, а также различным поведением рассматриваемых соединений в атмосферном воздухе.

Анализ зависимостей среднемесячного содержания в атмосферном воздухе на станциях мониторинга и по данным дистанционного зондирования по городам Беларуси, выполненный для формальдегида и диоксида азота для 2006–2013 гг. показал, что статистически достоверно с использованием линейной модели могут быть аппроксимированы концентрации для отдельных разных для рассматриваемых соединений городов.

Для формальдегида установлена преимущественно положительная связь между концентрациями в городах, измеренными на постах сети НСМОС и в толще атмосферы над ними. Статистически значимые корреляции получены для 8 из 18 рассматриваемых городов: Бреста ($R^2=0,293$), Витебска ($R^2=0,104$), Гомеля ($R^2=0,161$), Минска ($R^2=0,088$), Новогрудка ($R^2=0,189$), Орши ($R^2=0,303$), Пинска ($R^2=0,094$) и Речицы ($R^2=0,212$) (таблица 1). Статистически достоверные коэффициенты угла наклона и интерсепты положительные и находятся в диапазонах 2,481–4,622 и 0,184–1,976, соответственно.

При рассмотрении отдельных лет периода получены более тесные коэффициенты корреляции, в частности для Речицы в 2010 г. ($R^2=0,95$), Орши в 2011 и 2013 гг. ($R^2=0,87$, $R^2=0,83$), Гомеля в 2013 г. ($R^2=0,87$) и Гродно в 2013 г. ($R^2=0,88$). В 2013 г. наблюдалась наиболее тесная связь среднемесячного содержания формальдегида в атмосферном воздухе на станциях мониторинга и по данным дистанционного зондирования по городам Беларуси: в 13 из 14 рассмотренных городов коэффициент корреляции (R) составил от 0,34 до 0,94.

Таблица 1 – Параметры корреляции среднемесячного содержания формальдегида и диоксида азота в атмосферном воздухе на станциях мониторинга и по данным дистанционного зондирования по городам Беларуси в 2006–2013 гг.

Город	Диоксид азота				Формальдегид			
	Уровень значимости корреляции p-value	Коэффициент корреляции, R^2	Коэффициенты уравнения линейной регрессии		Уровень значимости корреляции p-value	Коэффициент корреляции, R^2	Коэффициенты уравнения линейной регрессии	
			Угол наклона	Интерсепт			Угол наклона	Интерсепт
Брест	0,5822				0,00001	0,293	1,615	0,441
Витебск	0,6976				0,0138	0,104	4,597	0,184
Гомель	0,3652				0,0018	0,161	4,622	0,217
Минск	0,0365*	0,045	3,941	-0,039	0,0236	0,088	4,325	0,296
Могилев	0,0485	0,042	1,947	-0,009	0,1182			
Новогрудок	0,9591				0,0007	0,189	2,481	1,976
Орша	0,6983				0,00001	0,303	-0,747	0,575
Пинск	0,8776				0,0181	0,094	2,775	0,352
Речица	0,5906				0,0003	0,212	1,578	0,634
Светлогорск	0,0021	0,093	2,971	-0,027	0,3861			

*полужирным шрифтом выделены статистически значимые значения

Коэффициенты корреляции для городов со статистически достоверной связью приземных и тропосферных концентраций формальдегида возрастают в ряду Минск (0,29) – Пинск (0,31) – Витебск (0,32) – Гомель (0,40) – Новогрудок (0,44) – Речица (0,46) – Брест (0,54) – Орша (0,55).

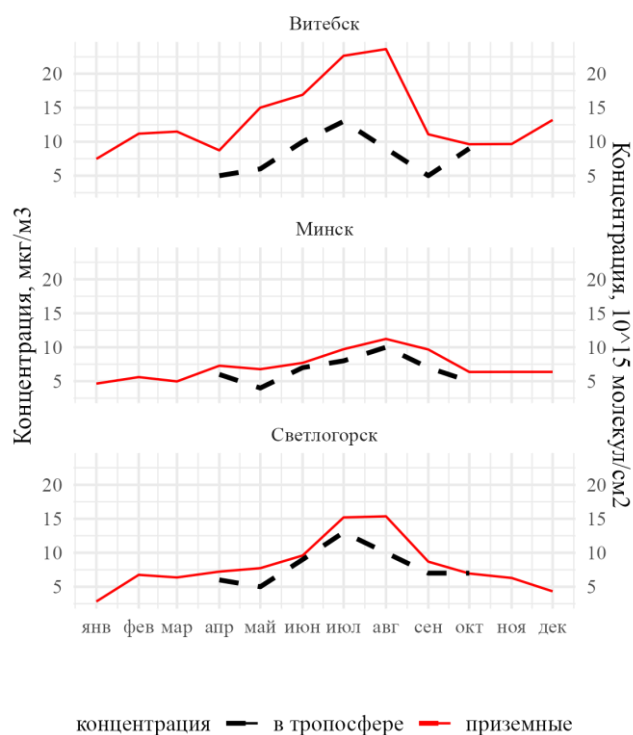
Для диоксида азота статистически достоверная корреляция между среднемесячными значениями содержания в приземном слое, измеренном на постах сети мониторинга и по данным дистанционного зондирования выявлена для еще меньшего числа городов: Минска ($R^2=0,045$), Могилева ($R^2=0,042$) и Светлогорска ($R^2=0,093$). Все коэффициенты линейных моделей для диоксида азота статистически достоверны. Коэффициенты угла наклона положительные (1,947–3,941), интерсепты - отрицательные -0,039–0,009, соответственно.

Статистически достоверная линейная регрессия для всех рассматриваемых лет отмечена для городов Могилева, Мозыря, Новополоцка и Светлогорска, в отдельные годы – для Витебска (2008, 2011 гг.), Гомеля (2006, 2008-2009 гг.), Гродно (2007 г.), Минска (2014 г.), Могилева (2006 г.), Мозыря (2006 гг.), Новополоцка (2007-2008 гг., 2012 г.), Полоцка (2008, 2011 гг.), Речицы (2014 г.), Светлогорска (2006, 2009, 2010, 2011 и 2014 гг.), Солигорска (2009, 2010 гг.).

Согласно результатам корреляционного анализа, для городов со статистически достоверной связью приземных и тропосферных концентраций диоксида азота, наблюдается отрицательная связь между этими показателями. Коэффициенты корреляции составляют -0,213 для Минска, -0,205 и -0,304 для Могилева.

Выявленные корреляции подтверждаются годовым ходом среднемесячных концентраций в отдельных городах. В частности, для формальдегида в 2010 г. сходство динамики концентраций в приземном слое и тропосфере в Витебске, Минске и Светлогорске показано на рисунке 2.

формальдегид



диоксид азота

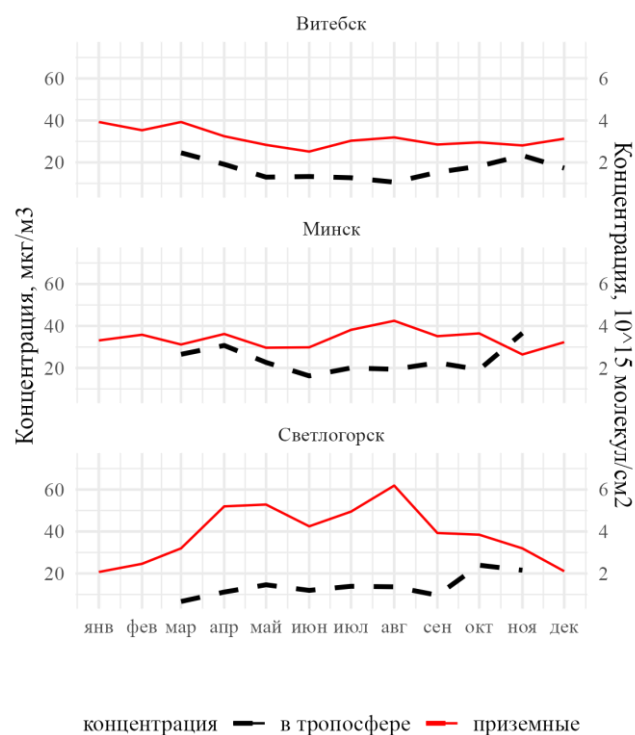


Рисунок 2 – Динамика среднемесячного содержания формальдегида и диоксида азота по данным мониторинга и дистанционного зондирования в гг. Витебске, Минске и Светлогорске в 2010 г.

Содержание формальдегида в Витебске в 2010 г., для которого установлена статистически достоверная корреляция между содержанием в приземном слое и тропосфере, в приземном слое находилось в диапазоне 7,5-23,6 мкг/м³, с максимумом в летний период (июль-август). В этот период наблюдались и наиболее высокие концентрации в тропосфере – до 13×10^{15} мол./см². В других представленных городах также наблюдалось сходство сезонной динамики как по данным наземных, так и по данным дистанционных наблюдений. Максимум в Минске также пришелся на август и в приземном слое составил 11,2 мкг/м³, в тропосфере – 10×10^{15} мол./см². В Светлогорске, для которого не установлена статистически достоверная корреляция между содержанием в приземном слое и тропосфере, наиболее высокое значение в приземном слое отмечено в августе (15,4 мкг/м³), тропосфере – в июле (13×10^{15} мол./см²).

Содержание диоксида азота в Витебске, для которого не установлена статистически достоверная корреляция между содержанием этого вещества в приземном слое и тропосфере, максимум в приземном слое отмечен в январе и марте (36,3 мкг/м³), в тропосфере – также в марте ($2,46 \times 10^{15}$ мол./см²), минимум в приземном слое – в июне (25,2 мкг/м³), в тропосфере – в августе ($1,06 \times 10^{15}$ мол./см²). Для других городов (Минска и Светлогорска) несмотря на наличие выявленной ранее отрицательной статистически достоверной корреляции, для 2010 г. общие тенденции выражены слабо. В Минске минимум приземной концентрации (26,4 мкг/м³) отмечен в ноябре, максимум – в августе (42,5 мкг/м³), минимум содержания в тропосфере – в июне ($1,62 \times 10^{15}$ мол./см²), максимум – в ноябре ($3,66 \times 10^{15}$ мол./см²), данные за январь, февраль и декабрь – отсутствуют. В Светлогорске минимум приземной концентрации (20,71 мкг/м³) отмечен в январе, максимум – в августе (61,88 мкг/м³), минимум содержания в тропосфере – в марте ($0,66 \times 10^{15}$ мол./см²), максимум (в отсутствие данных в декабре и феврале) – в январе ($7,40 \times 10^{15}$ мол./см²).

Заключение. Анализ динамики среднемесячных концентраций оксида азота и формальдегида в приземном слое и толще атмосферы показал различие для этих соединений. Для формальдегида характерна неустойчивая межгодовая тенденция к росту, максимумы в теплый летний период. Диоксид азота характеризуется слабовыраженной межгодовой тенденцией к сокращению содержания в тропосфере, с интенсивными максимумами в зимний период на фоне низкого уровня, наблюдаемого в другие сезоны. Соединения характеризуются различной по направлению корреляцией содержания в приземном слое и толще атмосферы: формальдегид – положительной, диоксид азота – отрицательной. Для диоксида азота статистически достоверная линейная регрессия приземных и тропосферных концентраций выявлена для 3 городов, для формальдегида – для 8 городов.

Выявленные различия отражают различные для рассматриваемых соединений хемокинетику в атмосфере и структуру поступления в атмосферный воздух.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований «Природопользование и экология», подпрограммы «Природные ресурсы и экологическая безопасность»; № госрегистрации 20160130 (2016-2018); № госрегистрации 20192480 (2019-2020).

Список цитированных источников

1. Безуглая, Э. Ю. Воздух городов и его изменения / Э. Ю. Безуглая, Н. В. Смирнова. – СПб. : Астерион, 2008. – 254 с.
2. Какарека, С. В. Отчетность о выбросах загрязняющих веществ в рамках обязательств по конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния: методология и результаты / С. В. Какарека, О. Ю. Круковская, А. В. Мальчихина // Материалы научно-практической конференции «Природопользование и экологические риски» (5 июня 2019 г.). – Минск, 2019. – С. 246–251.
3. Геоэкологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом в городах Беларуси: дис. ... канд.геогр. наук : 25.03.13 / Ю. Г. Кокош. – Минск, 2017. – 248 л.
4. OMI Algorithm Theoretical – Basis Document – Volume IV: OMI Trace Gas Algorithms. – 2002. – 78 с.
5. TEMIS - Tropospheric Emission Monitoring Internet Service [Electronic source]. – Mode of Access: <http://www.temis.nl/index.php>. – Date of Access: 20.04.2018.
6. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь. Мониторинг атмосферного воздуха. Архив результатов наблюдений за 2005–2015 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nsmos.by/content/173.html>. – Дата доступа: 24.06.2022.

УДК 574.4; 631.45; 632.8

БИОТЕСТИРОВАНИЕ СМЕСЕЙ ЗОЛЫ С ПОЧВЕННЫМИ ДОБАВКАМИ НА МОДЕЛЬНЫХ КУЛЬТУРАХ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

*А. П. Колбас¹, И. В. Бульская¹, И. Н. Яковук¹, В. С. Нестерук¹,
О. Н. Франчук¹, М. М. Дашкевич²*

¹УО «Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина», Брест, Беларусь, kolbas77@mail.ru

²Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, Брест, Беларусь

Аннотация

Физико-химический анализ золы и лизиметрических вытяжек свидетельствует о повышенном содержании как биофильных, так и технофильных элементов. Причем значительное присутствие первых (Zn, Cu, Mo, Co, Mn, B, P, K) позволяет использовать данную золу в качестве минеральной добавки к почве. Проведенный анализ эффективности совместного применения золы и почвенных добавок методами биотестирования с использованием двух культур (кукуруза и подсолнечник) выявил видоспецифичность. При использовании золы (10 %) максимальный улучшающий эффект выявлен для массы надземных и подземных частей кукурузы при добавлении торфа (прирост на 271 % и 97 % соответственно). Для стеблей подсолнечника максимальный прирост биомассы наблюдался при совместном использовании торфа и комплексных удобрений (25 %).

Ключевые слова: зола, индикативность, почва, удобрения, торф, тяжелые металлы, фитотоксичность.

BIOTESTING OF ASH MIXTURES WITH SOIL ADDITIVES USING MODEL CROPS UNDER LABORATORY CONDITIONS

*A. P. Kolbas, I. V. Bulskaya, I. N. Yakovuk, V. S. Nesteruk,
O. N. Franchuk, M. M. Dashkevich*

Abstract

Physical and chemical analysis of ash and lysimetric extracts indicated an increased content of both biophilic and technophilic elements. The significant presence of the former (Zn, Cu, Mo, Co, Mn, B, P, K) allows to use tested ash as a mineral additive to the soil. The analysis of the effectiveness of the combined use of ash and soil additives by biotest method using two crops (corn and sunflower) revealed species specificity. The maximum improving effect was found for the mass of aboveground and underground parts of corn when using ash (10%) with the addition of peat (increase by 271% and 97%, respectively). For sunflower stems, the maximum increase in biomass was observed with the combined use of peat and complex fertilizers (25 %).

Keywords: ash, indicativity, soil, fertilizers, peat, heavy metals, phytotoxicity.

Введение. Одним из факторов обеспечения энергетической безопасности Республики Беларусь является широкое вовлечение в топливный баланс местных видов топлива, возобновляемых и нетрадиционных источников энергии, из которых значительная часть ресурсов приходится на древесное топливо и растительную биомассу [1]. Утилизация золы, полученной в результате, представляет собой непростую задачу. Золоотвалы с повышенным содержанием тяжелых металлов являются потенциальными источниками загрязнения окружающей среды [2]. Минеральный состав золы зависит от целого ряда внутренних и внешних факторов: вида растения, его жизненной формы, условий произрастания, геохимического фона, доступности элементов питания, технологических особенностей озоления и др. [3, 4].

Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что золу и золошлаковые материалы можно использовать в различных отраслях народного хозяйства, например, в сельском и лесном хозяйстве, металлургии, нефтехимической промышленности, строительной индустрии, в зеленом и дорожном строительстве, биоэнергетике [5].

Способы применения золы в качестве удобрения также зависят от ряда условий: потребностей и лимитов растений, первоначального микрохимического состава и кислотности почвы [6]. Фитотоксические пороги по отдельным элементам довольно сильно варьируют у различных растений, поэтому для большинства из них золу нужно вносить в хорошо увлажненную почву или после предварительного разбавления органическими субстратами (компост, торф) [6].

Важной особенностью золы является отсутствие азота, поэтому многие авторы рекомендуют обогащать ее перед внесением комплексными минеральными удобрениями (NPK) [7].

Преимуществами применения золы в качестве почвенной добавки являются увеличение рН для кислых почв, возмещение запаса минеральных веществ, потребленных растениями (в том числе NPK до определенной степени), увеличение доступности для растений нутриентов и улучшение их роста. Сорбционные свойства золы и углей, полученных из растительной биомассы, способствуют снижению подвижности тяжелых металлов и устойчивых органических загрязнителей в почве, таким образом, уменьшая их доступность для растений и риск попадания тяжелых металлов в пищевые цепи [7, 8]. Следует отметить, что, несмотря на широкое применение данного метода на практике, в научной литературе отсутствует достаточное количество информации о фитотоксических порогах и рекомендуемых дозах для конкретных культур, долгосрочном влиянии высоких доз золы на лесное и сельское хозяйство, а также на почвенные микроорганизмы.

Целью данной работы был физико-химический анализ золы, а также оценка методом биотестирования эффективности совместного применения золы и почвенных добавок.

Материалы и методы. Почвенные смеси формировались после тщательного перемешивания незагрязненных контрольных почв (К – отдел Агробиология Центра экологии БрГУ имени А. С. Пушкина) с золой (З – КУМПП Кобринское ЖКХ) в соотношении от 90:10 %, данный фитотоксичный порог был выявлен в предварительных исследованиях.

В первоначальных субстратах было определено валовое содержание макро- и микроэлементов (табл. 1) на атомно эмиссионном спектрометре с индуктивно-связанной плазмой iCAP 7200 DUO (производство Thermo Scientific) в ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси».

В качестве добавок использовался торф (10 и 20 % – Т10 и Т20 соответственно), а также комплексное минеральное удобрение (NPK – нитрофоска из расчёта 40 г/м²).

В качестве тест-объектов были выбраны кукуруза (*Zea mays* L.) и подсолнечник однолетний (*Helianthus annuus* L.). Выбор объектов обусловлен высокой скоростью роста и индикативностью к загрязнению почв, выявленных в предыдущих исследованиях [9, 10].

Для проведения анализа по 10 семян высевали в каждый горшок в четырехкратной повторности. Затем горшки помещали в климатизированное помещение Зимнего сада Центра экологии БрГУ имени А. С. Пушкина со следующими условиями: световой режим – 14 ч, освещение – 150 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, температура 25°C (день)/22°C (ночь), относительная влажность – 65 % [11]. Горшки были расставлены в случайном порядке и поливались водопроводной водой (50 % полевой влажности почвы).

Растения были собраны через три недели на стадии двух-трех настоящих листьев. Побеги и корни каждого растения были промыты, взвешены и измерены.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы R версия 3.5.3 (Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия). Уровень достоверности был $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение. Химический состав золы

Химический анализ золы выявил повышенные содержания как биофильных, так и некоторых технофильных элементов (таблица 1). Так содержание меди было в 15 раз выше фонового [12], марганца – более чем в 4 раза, бора – более, чем в 10 раз. Повышенными концентрациями характеризуются калий и кальций – в более чем в 40 и 17 раз соответственно.

Высокие концентрации щелочных и щелочноземельных металлов могут значительно повышать осмотическое давление почвенного раствора и затруднять его поглощение корнями. В то же время, содержания таких ТМ, как цинк и кадмий в золе превышает ПДК в 2,4 и 3,7 раза соответственно [13].

Таблица 1 – Химический состав субстратов (валовое содержание элементов)

А) в мкг/кг

вариант	Pb	Cd	Cu	Zn	Fe	Mn	Ni	Co	Cr	Mo	B
почва	7,6 9	0,1 2	9,7 8	28,94	4634,7 7	87,55	3,3 9	1,4 9	10,2 1	0,0 7	6,94
зола	6,3 7	1,8 5	29, 2	133,6 4	2865,8 4	456,5 2	3,0 2	3,3 7	9,66	0,3 2	68,7 6

Б) в г/кг

вариант	Al	P	S	K	Na	Ca	Mg
почва	4,78	0,45	0,57	0,79	0,09	7,29	1,24
зола	5,23	6,00	0,88	34,09	1,06	129,57	13,13

Биомасса тестовых растений

Анализ массы подземных и надземных частей тестовых растений представлен на рисунках 1 и 2. Как видно из приведенных данных, внесение золы в условиях вегетативного опыта оказало в основном угнетающее действие на подсолнечник, причем для корня эффект значительно более выражен, что связано с непосредственным контактом корня растений с тестируемым субстратом. Причиной негативного влияния золы на прирост вегетативной массы подсолнечника следует считать некоторые особенности данной культуры (чувствительность к уровню рН, минеральному составу по определенным элементам) [14]. Добавление торфа и комплексного минерального удобрения не помогло снизить негативное влияние добавки золы, а в варианте опыта З + НРК даже привело к еще большему снижению вегетативной массы за счет уменьшения массы побега. Ранее доказано, что факторы окружающей среды прямо или косвенно определяют доступность ионов и активность ферментов в почве, при этом рН почвы выступает в качестве доминирующего фактора [15].

Усиление негативного влияния при совместном внесении золы и комплексного минерального удобрения обусловлено в первую очередь солевым стрессом (повышение осмотического давления почвенного раствора). Поэтому рекомендовано раздельное внесение добавок, в частности более позднее внесение минерального удобрения в хорошо увлажненную почву.

В отличие от подсолнечника, внесение золы в качестве добавки в условиях вегетативного опыта положительно сказалось на массе надземной и подземной частей растений кукурузы, однако только в тех вариантах опыта, где одновременно с золой вносился торф. Причем с повышением дозы внесенного торфа значительно (на 50,7 %) увеличивается масса побега. Внесение только торфа так же приводит к увеличению вегетативной массы растений, причем масса корня увеличивается более значительно при внесении только торфа, а масса побега – при внесении золы и торфа одновременно.

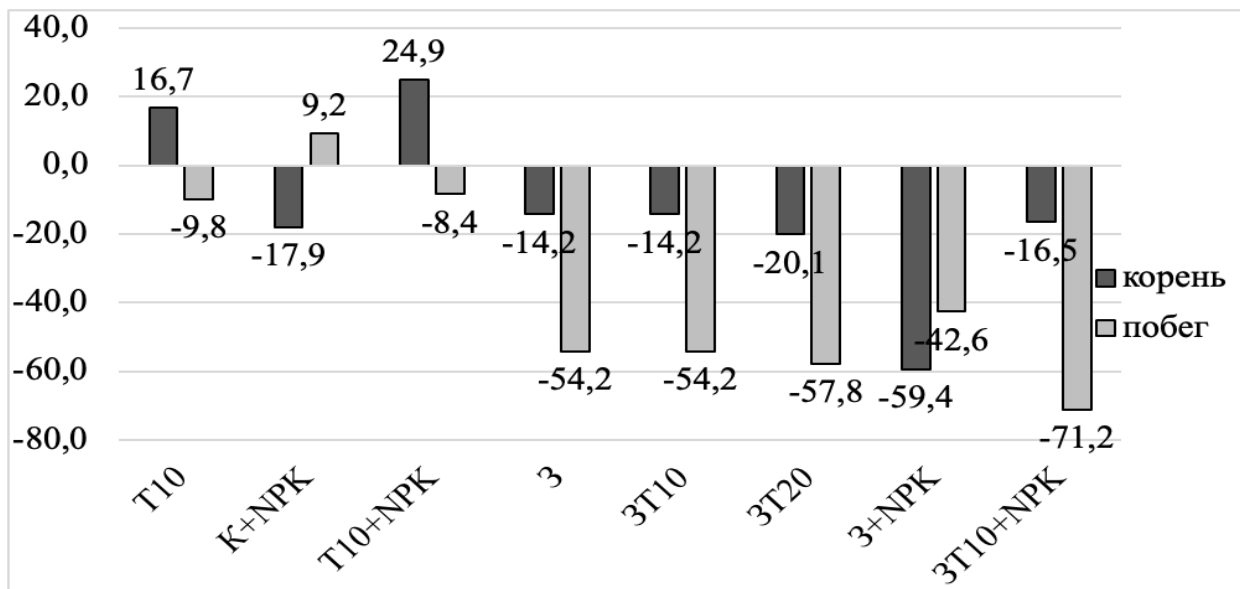


Рисунок 1 – Оценка влияния почвенных добавок на массы надземных и подземных органов подсолнечника в лабораторных условиях (в % к контролю): К – контрольная почва, 3 – 10 % золы, T10 или 20 – 10 или 20 % торфа (по массе), NPK-комплексное удобрение

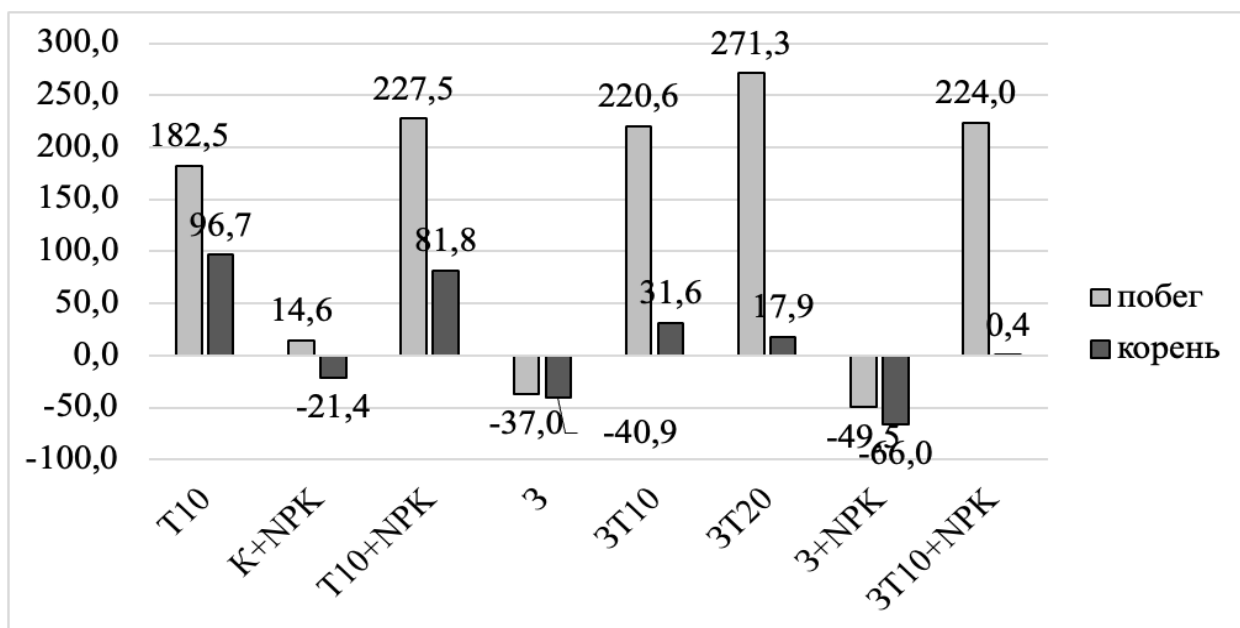


Рисунок 2 – Оценка влияния почвенных добавок на массы надземных и подземных органов кукурузы в лабораторных условиях : (в % к контролю): К – контрольная почва, 3 – 10 % золы, T10 или 20 – 10 или 20 % торфа (по массе), NPK-комплексное удобрение

Заключение. Подводя итог проведенного исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Зола содержит как биофильные, так и технофильные элементы и может применяться в качестве почвенной добавки при значительном разбавлении. Совместное внесение золы и торфа имеет положительный эффект для толерантных к золе культур.

2. Применение минеральных комплексных удобрений лучше осуществлять отдельно от золы.

3. Степень фитотоксического влияния золы на сельскохозяйственные культуры видоспецифична, поэтому необходимы дальнейшие исследования для определения круга культур и агротехники применения золы в качестве почвенной добавки.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта БРФФИ-БРЕСТ № Х22Б-009/С «Оценка свойств золы, получаемой на объектах биоэнергетики Брестской области, и разработка рекомендаций по ее использованию в народном хозяйстве».

Список цитированных источников

1. Мясникович, М. В. Управление системой обеспечения экономической безопасности / М. В. Мясникович, С. С. Полоник, В. В. Пузиков. – Минск : Право и экономика, 2006. – 380 с.
2. Хомич, В. С. Золоотвалы ТЭЦ как потенциальные источники загрязнения окружающей среды / В. С. Хомич [и др.] // Сб. науч. тр. / Национальная академия наук Беларуси, Государственное научное учреждение «Институт природопользования». – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 124–135.
3. Sarkar V. Biochar from Biomass: A Review on Biochar Preparation Its Modification and Impact on Soil Including Soil Microbiology / V. Sarkar [et al.] // Geomicrobiology, Volume 39, Issue 3–5: Microorganisms in Mining & Industrial Waste Management – 2022. – P. 373–388.
4. Etiegni L. Evaluation of wood ash disposal on agricultural land. I. Potential as a soil additive and liming agent / L. Etiegni, A. G. Campbell, R. L. Mahler // Communications in Soil Science and Plant Analysis. Volume 22, Issue 3-4. – 1991. – P. 243–256.
5. Родькин, О. И. Перспективы использования золы древесины ивы и соломы в растениеводстве / О. И. Родькин, И. В. Сай, С. К. Пронько // Экологический вестник. – 2013. – № 2 (24). – С. 84–90.
6. Палеев, П. Л. Использование золошлаковых отходов в сельском хозяйстве / П. Л. Палеев, Л. И. Худякова // XXI Век. Техносферная Безопасность, 6(4). – 2021. – P. 348–356.
7. Босак, В. Н. Применение древесной золы в питании растений / В. Н. Босак [и др.] // Труды БГТУ. – 2012. – № 1. – С. 158–160.
8. V. M. Dang Evaluation of fly ash, apatite and rice straw derived-biochar in varying combinations for in situ remediation of soils contaminated with multiple heavy metals / V. M. Dang [et al.] // Soil Science And Plant Nutrition, VOL. 66, NO. 2. – 2020. – P. 379–388.

9. Kolbas, A. Copper phytoextraction in tandem with oilseed production using commercial cultivars and mutant lines of sunflower / A. Kolbas [et al.] // Intern. J. Phytoremediation. – 2011. – Vol. 13, Suppl. 1. – P. 55–76.
10. Колбас, А. П. Структурные и функциональные ответы растений на полиэлементное загрязнение в почвенных сериях / А. П. Колбас, Н. Ю. Колбас, М. А. Пастухова // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта, сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2021. – № 1. – С.23–33.
11. ISO 11269-2:2012. Soil quality -Determination of the effects of pollutants on soil flora – Part 2: Effects of contaminated soil on the emergence and early growth of higher plants. – 2012. – P. 19.
12. Геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв и огородных культур в урболандшафтах г. Бреста и разработка рекомендаций по снижению соответствующих рисков: отчет о НИР (промежуточный): Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси; рук. Н. В. Михальчук. – Брест, 2017. – 15 с. –№ X17Б-002.
13. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве: ГН 2.1.7.12-1-2004. – введ. 25.02.2004. – Минск : постановление главного государственного санитарного врача РБ, 2004. –30 с.
14. Донцов, В. Г. Роль технологии возделывания при производстве подсолнечника / В. Г. Донцов, Л. П. Бельтюков, Е. К. Кувшинова // Вестник аграрной науки Дона. – 2013. – № 1 (21). – С. 83–89.
15. Кузина, Л. Б. Актуальное состояние изучения изменения форм и биодоступности меди и цинка в системе «почва - растение»: выбор дизайна исследования для мониторинга на большом массиве образцов/ Л. Б. Кузина // Бюллетень науки и практики. – 2018. – Т. 4. №7. – С. 120–152.

УДК 574.91:674.031.973.22(476)

МИГРАЦИЯ БУЗИНЫ ЧЕРНОЙ (*SAMBUCUS NIGRA* L.) В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

В. В. Крицкая, Е. Г. Бусько, Е. В. Акшевская

УО «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета, Минск, Беларусь, lerakritzkaaya@gmail.com

Аннотация

Проведена морфологическая и биохимическая оценка плодов, листьев и побегов *Sambucus nigra* L. Подчеркнуто широкое применение цветков и плодов *Sambucus nigra* L. в фармакологии и промышленности. Выполнена сравнительная оценка изменения ареала произрастания *Sambucus nigra* L. на территории Республики Беларусь.

Ключевые слова: глобальное потепление, факторы окружающей среды, миграция, бузина черная, фармакология.

MIGRATION OF THE BLACK ELDERBERRY (*SAMBUCUS NIGRA* L.) UNDER THE CONDITIONS OF GLOBAL WARMING IN THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS

V. V. Kritskaya, Eu. G. Buško, E. V. Akshevskaya

Abstract

The morphological and biochemical evaluation of the fruits, leaves and shoots of *Sambucus nigra* L. was carried out. The wide use of flowers and fruits of *Sambucus nigra* L. was emphasized. In pharmacology and industry. A comparative assessment of changes in the area of growth of *Sambucus nigra* L. on the territory of the Republic of Belarus was made.

Keywords: global warming, environmental factors, migration, black elderberry, pharmacology.

Введение. Проблема глобального изменения климата является одной из главных тем последних десятилетий. Из-за увеличения температурных показателей происходит изменение видового разнообразия различных регионов. Основными причинами являются исчезновение многих видов растений, характерных для данной территории, а также возникновение новых видов, не характерных для наших широт. В последние годы на территории Республики Беларусь была выявлена миграция некоторых видов растений с южных территорий в северные. Для отслеживания миграции растений была выбрана бузина черная, являющаяся инвазивным видом и характеризующаяся высокой скоростью распространения на территории Беларуси.

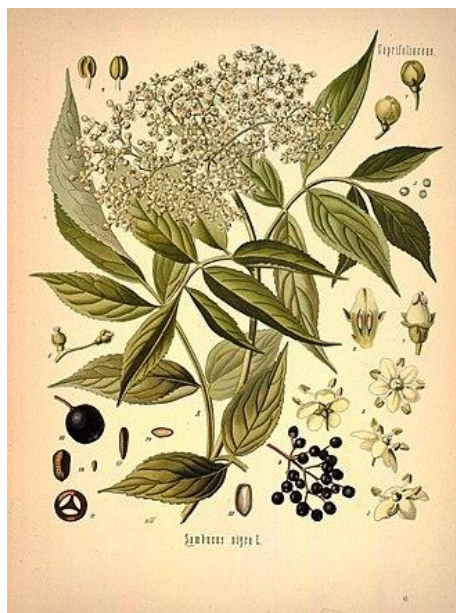


Рисунок 1 – Бузина черная (*Sambucus nigra* L.)

Целью исследования является оценка изменения ареала произрастания *Sambucus nigra* L. в связи с глобальным изменением климата на территории Республики Беларусь. Для осуществления оценки миграции исследуемого вида были

использованы данные о среднегодовой температуре воздуха за период с 2018 по 2021 годы.

Материалы и методы. В представленной работе использованы следующие методы исследования: экологические, морфологические, статистические и описательные. Выполнен сбор данных, по результатам которого проведена оценка изменения ареала произрастания *Sambucus nigra* L. на территории Беларуси в связи с глобальным изменением климата.

Результаты и обсуждение. Бузина черная (*Sambucus nigra* L.) (рисунок 1) – кустарник высотой 2–6 м, иногда до 10 м, с пепельно-серой продольно-трещиноватой корой. Листья с неприятным запахом, супротивные, сложные, длиной 20–30 см, без прилистников, непарноперистые, с 3–7 листочками. Цветки мелкие, желтовато-белые, сидящие или на коротких цветоножках, душистые, в крупных, многоцветковых, плоских, щитовидно-метельчатых соцветиях, достигающих 20 см в диаметре. Плод – сочная, слизистая, кисло-сладкая, блестящая, черно-фиолетовая, ягодообразная костянка длиной до 6 мм, с двумя-четырьмя продолговатыми плоскими косточками.

Sambucus nigra L. теневыносливое и влаголюбивое растение. Является крайне засухоустойчивым, светолюбивым, морозостойким видом, не требователен к почвенным условиям [6]. *Sambucus nigra* L. массово встречается на юге лесных и лесостепных районов европейской части РФ, в Предкавказье и Закавказье. Произрастает в подлеске широколиственных лесов по берегам рек и ручьев [5]. Также, *Sambucus nigra* L. возможно встретить в Южной Америке, северной части Африки, зоне умеренного климата в Азии, занесена и прижилась в Новой Зеландии. Кустарник выбирает опушки леса, луга, пустыри, дороги и свалки. Ее легко найти в зарослях крапивы и лебеды. На территории Беларуси *Sambucus nigra* L. встречается в южных регионах страны.

Цветки *Sambucus nigra* L. богаты витамином B₉, слизями, содержат холин, органические кислоты: валерьяновую, яблочную и уксусную [7]. Выявлены также следы эфирного масла и смолистых веществ. Листья *Sambucus nigra* L. содержат эфирное масло, гексоневый и гликолевый альдегиды, витамин C и каротины. Плоды содержат витамин C, антоцианы, аминокислоты и флавоноидные гликозиды [2]. В соке бузины содержатся все незаменимые аминокислоты, кроме триптофана. Растение богато солями K, Ca, Mg, Fe, Mn, I [9, 13].

Цветки и бутоны *Sambucus nigra* L. служат лекарственным сырьем, настой из которых разрешен в России для применения в качестве потогонного и диуретического лекарственного средства. Сырье этого растения используется для приготовления гомеопатических средств, применяемых при лечении острого ринита. Цветки *Sambucus nigra* L. обладают потогонным, жаропонижающим, успокаивающим, противовоспалительным и отхаркивающим действием. Настой цветков бузины черной применяют в виде полосканий, чая, ингаляций при различных заболеваниях дыхательных путей, а также как потогонное средство при бронхите, ларингите, гриппе; при заболеваниях почек, невралгиях, ревматизме [10].

На основе спиртовых экстрактов плодов *Sambucus nigra* L. были получены новые гистологические красители. Антоцианы плодов *Sambucus nigra* L., имеющие в составе положительно заряженный кислород, обеспечивают основные свойства соответствующего красителя, который избирательно окрашивает ядра клеток и базофильные структуры цитоплазмы [8].

Sambucus nigra L. является перспективным источником полифенольных соединений (в частности, флавоноидов) [4], благодаря которым проявляется его ан-

тиоксидантная, антигиперлипидемическая [1], гепатопротекторная и противодиабетическая активность. Также была установлена способность ингибировать процессы фотостарения кожи, вызванное воздействием ультрафиолета В (УФ-В) [3] и способность тормозить репликацию вирусов [12].

Плоды бузины можно потреблять как в свежем, так и в переработанном виде, причем варенье, джемы, желе ценятся выше, чем исходный сырой продукт. Благодаря насыщенной окраске сока плодов его подмешивают в вина в качестве не только ароматизатора, но и естественного красителя [11].

Sambucus nigra L. является инвазивным видом, появившимся на территории Беларуси в 17–18 веках. Этот вид настолько успешно и активно развивается в лесах, лугах и болотах Беларуси, что начал создавать угрозу аборигенной флоре страны.

В связи с глобальным изменением климата многие виды растений мигрируют на северные территории Республики Беларусь. *Sambucus nigra* L. не является исключением. Нами была проведена сравнительная оценка изменения ареала произрастания *Sambucus nigra* L. на территории Беларуси в 2018–2021 годы.

Среднегодовая температура воздуха в 2018 году была +7,9°C, что на 1,2°C выше нормы. *Sambucus nigra* L. является теплолюбивым кустарником, поэтому ее можно встретить в южных регионах нашей страны. Ареал *Sambucus nigra* L. в 2018 году представлен на рисунке 2.

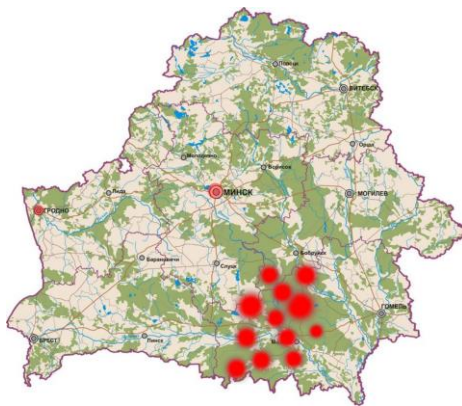


Рисунок 2 – Ареал произрастания *Sambucus nigra* L. в 2018 году

По данным Белгидромета, 2019 год был аномально теплым со среднегодовой температурой воздуха +8,8°C, что на 2,1°C выше нормы. В сравнении с 2018 годом, произошло небольшое увеличение ареала *Sambucus nigra* L. (рисунок 3).

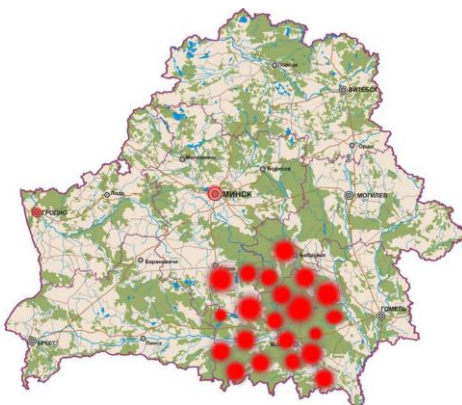


Рисунок 3 – Ареал произрастания *Sambucus nigra* L. в 2019 году

Среднегодовая температура воздуха в 2020 году составила $+9,1^{\circ}\text{C}$, что на $2,4^{\circ}\text{C}$ выше нормы и на $0,3^{\circ}\text{C}$ выше, чем в предыдущий год. На рисунке 4 прослеживается миграция *Sambucus nigra* L. вверх по Днепру на северные территории Беларуси.

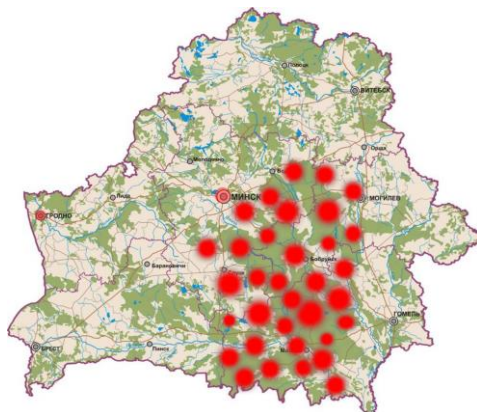


Рисунок 4 – Ареал произрастания *Sambucus nigra* L. в 2020 году

Как и в предыдущие года, 2021 был теплым, но не превысил климатические показатели 2019 и 2020 года. Среднегодовая температура составила $+7,3^{\circ}\text{C}$, что выше климатической нормы на $0,6^{\circ}\text{C}$. Однако, средняя температура в летний период составила $+20,0^{\circ}\text{C}$, что на $2,6^{\circ}\text{C}$ выше нормы. Ареал произрастания *Sambucus nigra* L. продолжил миграцию на северные территории, а также увеличил свою площадь в сторону Брестского региона (рисунок 5).

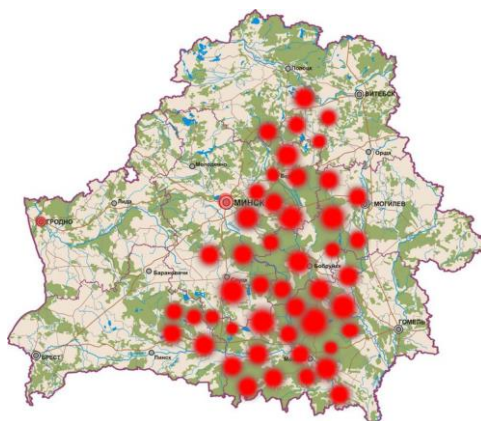


Рисунок 5 – Ареал произрастания *Sambucus nigra* L. в 2021 году

Изменение ареала произрастания *Sambucus nigra* L. в 2018 и 2021 годы показана на рисунке 6.

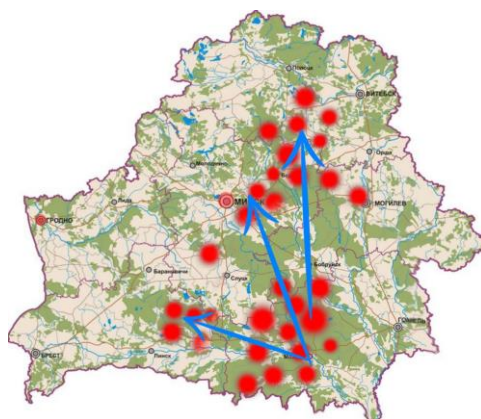


Рисунок 6 – Изменение ареала произрастания *Sambucus nigra* L. в 2018–2021 годы

Несмотря на то, что *Sambucus nigra* L. является светолюбивым растением, настоящее исследование показало, что увеличение среднегодовой температуры привело к увеличению ареала произрастания *Sambucus nigra* L. и его миграции в северные регионы страны, где условия более благоприятные для данного вида.

Заключение. *Sambucus nigra* L. является широко распространенным и легко доступным видом растений на территории Беларуси, европейской части России и Закавказья. Данный вид не до конца изучен, но является перспективным объектом для различного рода исследований.

1. Выполненная оценка биохимических особенностей *Sambucus nigra* L. выявила значительное содержание витаминов и минеральных веществ в ее плодах и листьях.

2. По результатам оценки изменения ареала произрастания *Sambucus nigra* L. на территории Беларуси в связи с глобальным потеплением климата было установлено, что из-за увеличения среднегодовой температуры произошло увеличение ареала произрастания *Sambucus nigra* L. и его миграция в северные регионы страны.

Список цитированных источников

1. Bonesi, M. Advances in the tyrosinase inhibitors from plant source / M. Bonesi, J. Xiao, R. Tundis et al. // *Current Medicinal Chemistry*. – 2019. – № 18. – P. 3279–3299.
2. Kaack, K. Interaction of vitamin C and flavonoids in elderberry (*Sambucus nigra* L.) during juice processing / K. Kaack, T. Austed // *Plant foods for human nutrition*. – 1998. – Vol. 52. – P. 187–192.
3. Lin, P. *Sambucus nigra* L. ameliorates UVB-induced photoaging and inflammatory response in human skin keratinocytes / P. Lin, E. Hwang et al. // *Cytotechnology*. – 2019. – № 5. – P. 1003–1017.
4. Viapiana, A. The Phenolic Contents and Antioxidant Activities of Infusions of *Sambucus nigra* L. / A. Viapiana, M. Wesolowski // *Plant foods for human nutrition*. – 2017. – № 1. – P. 82–87.
5. Вандышев, В. В. Морфолого-анатомическое изучение свежих и высушенных плодов и семян бузины черной (*Sambucus nigra* L.) как возможных источников пищевых и лекарственных веществ / В. В. Вандышев, М. Е. Павлова, О. И. Сердечная, Е. А. Мирошникова, В. А. Сурков // *Вестник РУДН, серия Агрономия и животноводство*. – 2013. – № 3. – С. 13–21.
6. Варданын, З. С. Биометрические показатели органов растения *Sambucus nigra* L. в зависимости от условий произрастания / З. С. Варданын, Л. Е. Байрамян, Г. Р. Саакян, А. К. Мхитарян // *Sciences of Europe*. – 2022. – № 91. – С. 7–10.
7. Вернигова, М. Н. Определение рутина в цветках бузины черной (*Sambucus nigra* L.) хроматодегситометрическим методом / М. Н. Вернигова, Г. Н. Бузук // *Вестник фармации*. – 2014. – № 4. – С. 43–49.
8. Ишунина, Т. А. Разработка технологии приготовления и применения гистологических красителей на основе экстрактов бузины черной, бархатцев распростертых и донника лекарственного / Т. А. Ишунина, С. Г. Боева // *Химия растительного сырья*. – 2017. – № 2. – С. 163–169.

9. Кинцурашвили, К. М. Физико-химические показатели и аминокислотный состав сока и ягод бузины травянистой (*Sambucus edulus* L.) / К. М. Кинцурашвили, В. Г. Хвенделидзе, Р. Г. Мелкадзе // Химия растительного сырья. – 2008. – № 3. – С. 93–95.
10. Павлова, М. Е. Морфологическое изучение цветков и соцветий бузины черной (*Sambucus nigra* L.) в условиях московской области / М. Е. Павлова, А. А. Терехин, И. И. Истомина // Вестник РУДН, серия Агронимия и животноводство. – 2014. – № 2. – С. 28–32.
11. Сорокопудов, В. Н. Некоторые аспекты химического состава плодов *Sambucus nigra* L. при интродукции / В. Н. Сорокопудов, Л. В. Волощенко // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. – 2016. – № 6. – С. 74–77.
12. Фицева, Н. С. Получение сухих экстрактов из бузины черной цветков (*Sambucus nigra flos*) / Н. С. Фицева // LXXIV Международная конференция “Актуальные проблемы современной медицины и фармации – 2020” (АП-СМиФ – 2020). – Минск, Беларусь, 03.05–29.05, 2020.
13. Яхудин, Р. Лекарственные травы бузина черная, бузина травянистая / Р. Яхудин, Д. И. Кароматов // Биология и интегративная медицина. – 2016. – № 4. – С. 36–44.

УДК 504.54

**СОХРАНЕНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАБИЛИТАЦИЯ
ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ С ГИДРОСИСТЕМОЙ
НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТА КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ
«КОМПЛЕКС НИЖНЕТАГИЛЬСКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ЗАВОДА» (1720-2022 ГГ.)**

М. В. Кузовкова, Ю. М. Баранов

МКУК Нижнетагильский музей-заповедник «Горнозаводской Урал» филиал ЭИТ «Старый Демидовский завод», Россия, mvkuzv@gmail.com

Аннотация

Опыт изучения и сохранения объекта индустриального наследия – Нижнетагильского металлургического завода Демидовых, действовавшего до XXI вв. на базе гидротехнической системы XVIII в. Проблемы экологической реабилитации и сохранения индустриального ландшафта.

Ключевые слова: индустриальное наследие, гидротехнические сооружения, гидросистема, индустриальный ландшафт, экологическая реабилитация, старопромышленная территория.

**PRESERVATION AND ENVIRONMENTAL REHABILITATION
OF INDUSTRIAL LANDSCAPES WITH HYDRO SYSTEM
ON THE EXAMPLE OF A CULTURAL HERITAGE OBJECT "COMPLEX
OF THE NIZHNETAGIL METALLURGICAL PLANT" (1720-2022)**

M. V. Kuzovkova, Yu. M. Baranov

Abstract

The experience of studying and preserving an industrial heritage object - the Nizhny Tagil Metallurgical Plant of the Demidovs, which operated until the 21st century. based on the hydraulic system of the XVIII century. Problems of ecological rehabilitation and preservation of the industrial landscape.

Keywords: industrial heritage, hydraulic structures, hydraulic system, industrial landscape, environmental rehabilitation, old industrial area.

Вопросы сохранения и экологической реабилитации водных ресурсов объектов культурного наследия преимущественно рассматриваются на научных мероприятиях музейных институций. Большой частью вопросы касаются очистки прудов с применением традиционных методов такой работы. Совершенно по-иному приходится ставить вопросы по работе с индустриальными ландшафтами, которые имеют статус или признаки объектов культурного наследия. Методология вопроса почти не выработана, поскольку методы экологической реабилитации промышленных площадок плохо применимы в условиях, когда Вам приходится сталкиваться с культурным наследием со всеми ограничениями, которые установлены законодательством, с одной стороны, и с самой задачей сохранения ландшафта, с другой. Без опаски можно говорить, что вопросы экологической реабилитации старых металлургических заводов с гидросистемой являются большой редкостью в научной среде.

Область применения академических и практических знаний в сохранении и использовании индустриальных ландшафтов с действующей гидросистемой, включая их экологическую реабилитацию, весьма обширна. Здесь могут пригодиться знания и опыт любого плана, включая даже сельскохозяйственное направление, не говоря уже о разнообразии инженерно-технических практик. При этом до сих пор не выработан конкретный опыт по работе с объектами культурного наследия с гидротехническими сооружениями и гидросистемами (не считая, фонтанов и т.п.). Ярким и неповторимым примером изучения, сохранения и использования индустриального комплекса, выведенного из производственной деятельности, является старый Демидовский завод в Нижнем Тагиле. Это уникальный объект, сохраняющий трехвековую историю развития металлургии России и, содержащий полный металлургический цикл с использованием всех видов энергии – Вода – Пар – Электроэнергия. В 1987 году заводу был присвоен статус объекта культурного наследия.

Задача сохранения объекта культурного наследия с богатством инженерно-технологических и экологических проблем можно считать прецедентом и для промышленников, и в особенности для деятелей культуры, ведь указанные задачи решает Нижнетагильский музей-заповедник «Горнозаводской Урал», который является частью ведомства Министерства культуры. В настоящее время Нижнетагильский музей-заповедник «Горнозаводской Урал» имеет муниципальный статус.

Сегодня проблема реабилитации и рекультивации территории завода актуальна как никогда, потому что эта территория стала весьма перспективной

в плане развития индустриального туризма и реализации новых градостроительных решений для развития старопромышленных территорий. И использование данных территорий сдерживают факторы:

- опасности накопления в почве загрязняющих веществ, возможно накопление в технических подпольях зданий и инженерных коммуникациях пожароопасных биогазов (метана, двуокиси углерода);

- опасности коррозионной активности загрязнённых грунтов.

Выбор оптимального метода и технологии реабилитации и рекультивации загрязнённых территорий должен быть основан на принципах:

- соответствия законодательству;
- безопасных условий эксплуатации территории;
- охраны окружающей среды;
- охраны здоровья населения;
- экономической эффективности;
- рационального использования земельных ресурсов;
- градостроительного развития территории.

В данной ситуации музеем ведутся инженерно-технические и экологические обследования, но этого недостаточно, так как результаты каждого обследования локальны и не дают общего понимания состояния территории, включая взаимодействие объектов между собой. И как следствие, причины ухудшения состояния не выявляются до конца. Наша задача – комплексная исследовательская работа, предваряющая мероприятия по сохранению объекта «Комплекс металлургического завода» объекта культурного наследия. При этом задачами обследования ставим, обеспечить комплексный, системный подход к работам по устойчивому развитию территории в историческом, культурологическом и градостроительном контекстах. Обеспечить сохранность объекта культурного наследия, как единого ансамбля. Для реабилитации и рекультивации загрязнённой промышленной территории необходимо подобрать и реализовать с помощью современных технологий обследования и разные методики реабилитации и рекультивации.

По мере развития горнозаводского дела на Урале изменялась экономическая география региона, организовывались горнозаводские округа, в состав которых входили заводы, шахты, карьеры, прииски и пристани (последние – для сплава по рекам готовой продукции). Индустриальный ландшафт бывшего Нижнетагильского горнозаводского округа Демидовых сегодня – это результат формирования территории на основе использования энергии воды, как движущей силы механизмов и ресурса для развития технологий в металлургии и машиностроении XVIII-XIX вв. В него входит действующая гидросистема металлургического завода во взаимодействии с другими предприятиями горнозаводского округа, его транспортной инфраструктурой и городской территорией.

Еще 100 лет назад гидросистемы некоторых заводов сливались, наполняя заводские пруды в период маловодия. При этом в качестве важной меры против понижения уровня воды использовалась расчистка от лесных завалов русел рек, впадающих в них. В весенний период, в связи с обильным таянием снегов, главное внимание в прудовом хозяйстве уделялось системе спуска вешних вод.

Существовал специальный набор мероприятий для отслеживания текущей ситуацией с уровнем воды в прудах и управления ею.

«Демидовская» гидросистема сохранилась, но ее состояние функционирования ежегодно ухудшается. Сегодня система нарушена, зачастую засыпана мусором, некоторые ее элементы превращены в отстойники и сливные каналы для обслуживания инфраструктуры города. Функциональная гидросистема не может не использоваться с учётом ее предыдущего назначения, иначе это приведет к техногенной катастрофе, что повлечет за собой гибель людей и объекта. Это основное отличие индустриального ландшафта и не считаться с этим нельзя.

На территории Старого Демидовского завода находятся такие водные объекты, как: рабочий канал, вешнячий канал, река Рудянка. В них за счет постоянного техногенного воздействия образовался мощный загрязняющий иловый осадок, пропитанный производственными отходами, являясь вторичным источником загрязнения.

Перечень объектов исследования:

- канал искусственный водопропускной (левый берег);
- главный рабочий канал с клепанной металлической трубой (предположительно естественное русло реки Тагил);
- территория доменного цеха-место рабочего канала доменной фабрики;
- русло реки Рудянки (скрытое под землей);
- каналы, отводящие воды реки Рудянки;
- подземные сливные каналы механической фабрики с масло отстойниками;
- подземный сливной канал прокатной фабрики для взаимодействия каналов между для предотвращения переполнения во время паводка;
- подземный склад мазутного топлива мартеновского цеха.

План восстановления водных объектов ЭИТ предусматривает:

- очистку русла рабочего канала и вешнячего канала;
- заполнение водой рабочего канала, отвечающей нормам санитарии, с целью превращения водных объектов в зону отдыха и развлечений;
- очистку градирни, водонапорной башни 1930 года, бака накопителя воды на Лисьей горе от мусора и грязи.

Возможно, принять решения об использовании и развитии:

- на вешнячем канале – спортивной тренировочной базы для водных видов спорта;
- на рабочем канале – уголков рыболова-любителя, исследовательской и образовательной лаборатории для детей школьного возраста;
- градирня, водонапорная башня – объекты отдыха и развлечений;
- укрепленные и озелененные берега вешнячего и рабочего каналов.

Во главу гидрологических изысканий следует поставить обследование современного состояния русел рек Тагила и Рудянки, выявление и изучение наземных и подземных искусственных каналов гидросистем завода.

Задачей исследований по определению водообильности пластов, разработки комплекса мероприятий по восстановлению дренажной системы территории, является разработка мер упреждения негативных последствий на подтопленной

территории, прогноз рисков по неисполнению мер поддержания гидротехнических каналов в рабочем состоянии.

Резюмируя вышеизложенное, можно сказать, что на сегодняшний день мы должны иметь полное научное обоснование о состоянии индустриального ландшафта для восстановления в жизнеспособном инженерно-техническом состоянии гидросистемы завода, включая плотину, каналы и дренажи. Без результатов изысканий и исследований мы не можем с уверенностью сказать, на каком уровне идет взаимодействие между собой каналов и дренажей трехвековой гидросистемы завода. Только получив такие данные, мы сможем перейти к работам по приспособлению объекта индустриального наследия к современным условиям использования.

На сегодняшний день площадка ОКН завода требует межинституционального, межотраслевого, комплексного подхода к сохранению и экологической реабилитации. Она может стать местом для разнообразных научных экспериментов в области гидротехники, экологической реабилитации и сохранения и использования в современных условиях старых гидросистем.

Проблема аккумуляции научных ресурсов, кадровых ресурсов, методологии, управленческих моделей, включая формирование бюджета, взаимодействия с властью.

Ожидаемый результат:

1. Сохранение системы в действующем виде в совокупности с объектами архитектуры и науки и техники и нематериальным техническим наследием.

2. Экологическая реабилитация для приспособления к парковой зоне и включение в городское пространство.

3. Изменение сознания в части особой ценности технических знаний на фоне приоритета визуальности и артистичности без понимания законов природы и технологий в целях сохранения преемственности поколенческих знаний (против упрощения восприятия мира – «имитационного», «аттракционному»).

Список цитированных источников

1. Кузовкова М. В., Баранов Ю. М., Бунькова А. А. Индустриально-ландшафтный Демидов-парк. Реновация старопромышленной территории. Стратегия модернизации города Нижний Тагил и Нижнетагильского городского округа [Электронный ресурс]: электронная монография / – Электрон. дан. (42 Мб, 147 стр. гипертекста, 25 илл.) – М. : ИНФОРМРЕГИСТР, [2013]. – 1 электрон.опт. диск (CD-ROM) : зв., цв. ; 12 см. — Систем. требования: Pentium 1 ГГц; Windows 2000/XP/7, прогр. AdobeReader. – Загл. с экрана. № гос. регистр. 34423 от 25.12.2013.
2. Баранов Ю. М., Кузовкова М. В., Бунькова А. А. Индустриально-ландшафтный Демидов-парк. Реновация старопромышленной территории. Стратегия модернизации города Нижний Тагил и Нижнетагильского городского округа [Электронный ресурс]: электронная монография, Часть 2. Интерактивное мультимедийное приложение / Электрон.дан. (420 Мб, 199 стр. гипертекста, 235 илл., 28 аним.) – М. : ИНФОРМРЕГИСТР, [2014]. – 1 электрон.опт. диск (CD-ROM) : зв., цв. ; 12 см. — Систем. требования: Pentium 1 ГГц; Windows

2000/XP/7, прогр. AdobeReader. – Загл. с экрана. № гос. регистр. 0321401504 от 26.09.2014.

3. Кузовкова М. В., Баранов Ю. М. Проект "Реновация старого Демидовского завода". Концепция и Мастер-план [Электронный ресурс]: электронная монография /– Электрон.дан. (1 560 Мб, 77 стр. гипертекста, 937 илл., 109 3D реконстр.) – М.: ИНФОРМРЕГИСТР, [2016]. – 1 электрон.опт. диск (DVD-R): зв., цв.; 12 см. – Систем. требования: Pentium 1 ГГц; Windows XP/7. – Загл. с титул.экрана. – № гос. регистр. 0321604341 от 22.12.2016.(Г. М. Котина «мастер-план»).

УДК 571.56:553.45

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДЕПУТАТСКОГО ОЛОВОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (С-В ЯКУТИЯ)

В. Н. Макаров

Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск, Россия, vnmakarov@mpi.ysn.ru

Аннотация

В статье охарактеризованы эколого-геохимические условия территории освоения крупнейшего месторождения олова – Депутатское. Показана масштабность и специфичность последствий отработки месторождения, своеобразии воздействия на компоненты природной среды. Отмечено, что отрицательные экологические последствия разработки Депутатского месторождения олова имеют локальный характер по загрязнению атмосферы и литосферы и являются региональными по уровню техногенного давления на водные системы. Высказано мнение о нецелесообразности ограничений в дальнейшей отработке месторождения при условии создания и реализации системы природоохранных и компенсирующих мероприятий, позволяющих сохранить эффективную добычу олова с минимальным ущербом для северных геосистем.

Ключевые слова: оловорудное месторождение, Депутатское, геохимия, геоэкология, природная среда.

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL CONDITIONS OF THE DEPUTATSKY TIN DEPOSIT (NORTH-EAST YAKUTIA)

V. N. Makarov

Abstract

The article highlights the state of the tin mining industry in Yakutia and the largest tin deposit - Deputatsky, characterizes the natural conditions of the territory of development, their extremeness in climatic, geological-geomorphological and geocryological respects. The scale and specificity of the consequences of mining the deposit, the nature, originality of the impact on individual components of the natural environment are shown. An opinion was expressed about the inexpediency of restrictions in the further development of the deposit, provided that a system of environmental protection

and compensatory measures is created and implemented to maintain efficient tin mining with minimal damage to northern geosystems. This will contribute to the revival of the tin-mining industry of the republic.

Keywords: tin, Deputy ore deposit, North-East of Yakutia, geocology, natural environment, mining, Protection of Nature.

Введение. Олово является одним из важнейших полезных ископаемых, задействованных в народном хозяйстве Российской Федерации. Его запасы превышают 2 млн. тонн и сконцентрированы восточнее Урала – в пределах Иркутской и Магаданской областей, Забайкальского, Хабаровского и Приморского краев, Республики Якутии и Чукотского автономного округа. В Якутии основные месторождения олова сосредоточены на востоке и северо-востоке республики, где к настоящему времени известно 114 собственно оловянных объектов – девять коренных месторождений: Барыллыэлах, Депутатское, Дьяхтардахское, Кестер, Улахан-Эгеляхское, Чурпуньяа, Эге-Хая; шесть россыпных месторождений: Ергылкан, Смольникова, Тасаппа, Тирехтях, Тысы-Кыл, Чокурдахская; 92 коренных и семь россыпных проявлений, а также два месторождения комплексных олово-вольфрамовых руд: Купольное и Хороньское (10).

Природные условия территории месторождения. Депутатское оловорудное месторождение расположено на северо-востоке Республики Саха (Якутия) в Усть-Янском районе (рисунок 1). Это крупнейшее месторождение олова в России, его запасы составляют 13 % от запасов металла в стране. Месторождение было открыто 3 августа 1947 года и активно разрабатывалось подземным способом в период 1951–1999 гг. Позднее, в связи с общими экономическими проблемами в стране (13), эксплуатация постепенно сокращается. Ограниченная обработка ведется и в настоящее время (8, 9).



Рисунок 1 – Космический снимок района Депутатского месторождения

Климат района резко континентальный с суровой продолжительной зимой (8-9 месяцев) и коротким летом. Среднегодовая температура воздуха $-13,2^{\circ}\text{C}$. Среднегодовое количество осадков 250-280 мм, глубина снежного покрова – до 24 см. Многолетнемерзлые породы имеют сплошной характер развития, мощность

около 500 м с температурой на подошве слоя годовых колебаний около $-7,0^{\circ}\text{C}$. Сезонное оттаивание грунтов составляет от 0,4 до 1,8 м (7, 13). Основными географическими факторами, отрицательно влияющими на преобразование экосистем криолитозоны в районе месторождения, являются климатические (низкая температура, высокая повторяемость безветренных дней, туманы, относительно высокая плотность воздуха), геоморфологические и геокриологические условия ландшафтов (льдиность отложений, температура горных пород, мощность сезонного слоя, наледи и другие мерзлотные процессы и явления).

Важным геоэкологическим аспектом является развитие криогенных процессов и явлений: морозное выветривание, солифлюкция, морозное пучение, термокарстовые явления, морозобойное трещинообразование (12, 14).

Результаты и обсуждение. Горнодобывающие и горнообогатительные предприятия являются одними из наиболее активных преобразователей окружающей среды, что связано с целым комплексом техногенных факторов [3]. В то же время и сами месторождения являются природными загрязнителями. Отрицательные геоэкологические последствия практически неизбежны при технологических процессах разведки и эксплуатации месторождений. Это дефляция и размыв отвалов и хвостохранилищ; стоки водоотлива из подземных и поверхностных горных выработок; стоки обогатительных фабрик после очистки сооружений; рассеяние рудного материала при транспортировке; организованные и неорганизованные выбросы в процессе обогащения.

Основным оловосодержащим минералом месторождения является касситерит. Попутные ценные элементы в рудах: In, Au, Bi, Ag (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав руды Депутатского месторождения, мг/кг

Горные породы	Sn	Cu	Zn	Pb	As	Tl	Кол-во проб
Руда на Западном и Центральном флангах месторождения	4000	310	1200	70	64	1,4	120
Вмещающие породы, песчаники	3,8	26,3	76,8	18,7	<5	0,84	32

Рудное поле месторождения сложено мощной терригенной толщей песчаников с прослоями-ритмами глинистых алевролитов-алевропесчаников. Простираение пластов от северо-западного до субширотного, падение до 20° на юго-восток. Рудные тела морфологически представлены минерализованными зонами дробления, жилами выполнения, зонами прожилкования с выклинивающимися и дуговыми апофизами. Мощность не выдержанна и изменяется в пределах от 0,3 до 4,5 м с небольшими раздувами. Состав первичных руд – сульфиды, кварц, хлорит, турмалин, метаморфизованные осколки вмещающих пород (6, 10, 11).

Отработка месторождения ведется шахтным способом и связана с извлечением на поверхность больших масс пустых горных пород, откачкой дренажных вод, эксплуатацией их накопителей, хвостохранилищ.

К настоящему времени в результате горно-геологических работ серьезному преобразованию в подвержены около 75 % площади месторождения, что составляет около 4,9 тыс. га.

Поверхностные воды (реки, озера) за пределами месторождения очень пресные с минерализацией 30-40 мг/л, гидрокарбонатные смешанные по составу катионов. Характерной особенностью химического состава фоновых вод является сравнительно высокое для Северо-Востока Якутии содержание сульфат-иона, отражающее насыщенность сульфидами горных пород. Соотношение анионов в составе фоновых речных вод: $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$, катионов - $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$ (4).

Общей чертой гидрогеохимии района Депутатского месторождения является формирование кислых, иногда очень кислых, естественных гидрогеохимических полей с высокими концентрациями сульфатов и присутствием в солевом составе комплекса рудных элементов (5).

В результате процессов криогенеза в надмерзлотных водах формируются сульфатные криопэги. Величина сухого остатка этих вод достигает 250 г/л, а в составе микроэлементов обнаружены аномальные концентрации Cu, Sn, As, Ag, Pb, Cd, Be, Nb, Ta, Li, Hg.

Повышенная сульфатность характерна и для подмерзлотных вод, вскрытых скважинами в пределах рудного поля на глубинах 200-600 м. В составе подмерзлотных вод наблюдается обширный комплекс тяжелых металлов (Sn, Cu, Ag, Pb, Zn, Ni) и As, типоморфных составу рудных тел.

Источниками долговременного загрязнения речных экосистем являются хвостохранилища. Рудная пульпа обогащена металлами, содержащимися в пульпе (в основном халькофильной группы). Экологическая опасность продуктов обогащения связана с активизацией физико-химических процессов, возрастанием миграционной способности металлов, что ведет к развитию контрастных и протяженных потоков рассеяния.

Значительную опасность представляет такие высокотоксичные элементы как As и Pb, накапливающиеся в осадках отстойников и хвостохранилищ, и способные быть источниками вторичного загрязнения воды. Содержание этих токсикантов в осадках, особенно в техногенных илах, достигает высоких концентраций (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание As и Pb в осадках хвостохранилищ ДГОКа, мг/кг

Объекты Депутатского ГОКа	As	Pb
Хвостохранилище	1000	7
Отстойник	500	70
ПДК _{почв} [2]	10	32

Природную гидрогеохимическую обстановку меняют техногенные процессы: увеличение инфильтрационного питания за счет поступления из накопителей карьерных вод и жидкой фазы пульпы из хвостохранилищ; атмосферных осадков, поверхностных вод вследствие инверсии режима

поверхностных водоемов и водотоков (превращения их из естественных дрен в источники питания); загрязнение поверхностных вод атмосферными осадками, содержащими продукты выщелачивания отвалов пустых пород, карьерными водами, откачиваемыми в накопители, поверхностные водотоки и водоемы, сточными водами. Большинство сооружений, ограждающих накопители и хвостохранилища, пропускают техногенные растворы. «Ураганная» кислотность, повышенная концентрация сульфатов и соединений азота наблюдается в водосбросе хвостохранилища Депутатского оловорудного месторождения на протяжении тридцати лет (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание макро- и микрокомпонентов в техногенных водоемах Депутатского оловорудного месторождения, мг/л

Объекты	pH	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Zn	Cu	Mn	As
Хвостохранилище	2,6-3,5	405	0,034	11350	145	1,1	64	45	0,10
Водосброс, 1991 г.	2,6	1,0	0,005	1094	60	1,5	2,0	1,0	0,005
Водосброс, 2021 г.	2,9	< 0,5	1,31	1250	52	< 0,005	< 0,001	0,0043	0,005
ПДК _{рх} [1]	-	0,1	0,02	100	40	0,010	0,001	0,010	0,010

Поступление техногенных вод из хвостохранилища (рисунок 2) формирует контрастные техногенные гидрогеохимические аномалии в р. Депутатская, ручьях расположенных ниже по течению и даже в реке Иргичээн, куда сточные воды с накопителя жидких промышленных отходов на хвостохранилище прямиком спускаются в водосбросный лоток. При этом содержание, к примеру, аммония, Fe, Mn, Cu, Zn в воде, накапливающейся в хвостохранилище, превышает ПДК в сотни и даже в тысячи раз.

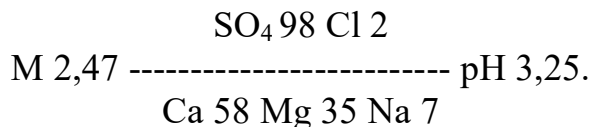


Рисунок 2 – Хвостохранилище Депутатской ОФ

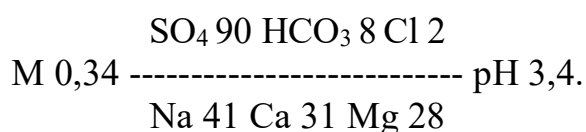
Большие объемы загрязненных стоков попадают в водные системы при катастрофических паводках. На Депутатском ГОК в 2007 г. в период с 22 мая по 4 июня объем сброса составил 202 тыс. м³; в 2008 г. с 6 по 13 июня, было сброшено 103 тыс. м³ паводковой воды при пропускной способности сифонного водосброса 600 м³/час.

Вода ручьев, расположенных ниже Депутатского рудного поля, представляет собой типичные «рудные» воды с преобладанием сульфатов в солевом составе и высокой концентрацией тяжелых металлов. Это очень агрессивные кислые воды с величиной pH 2,5–3,5 и повышенной минерализацией. Высокая кислотность и

насыщенность природных вод сульфатами и тяжелыми металлами наблюдается практически на всем протяжении р. Депутатская. Химический состав воды ниже хвостохранилища ДОФ сульфатный магниевый-кальциевый с величиной минерализации около 2,5 г/л:



Рудничные воды обогатительной фабрики частично сливаются через водоотводный туннель непосредственно в р. Иргичээн. Нейтрализация технологических растворов мало эффективна, и через туннель в реку поступают практически неочищенные очень кислые стоки. В русле реки ниже водоотвода рудничных вод формируется контрастная техногенная аномалия (р. Иргичээн (1,5 км ниже водоотвода ДОФ)):



Сброс рудничных вод Депутатской обогатительной фабрики в водную систему р. Иргичээн приводит к ее загрязнению широкой гаммой микроэлементов. Однако, благодаря щелочному геохимическому барьеру в воде реки, тяжелые металлы частично удаляются из раствора и концентрируются в донных осадках.

Состав и контрастность техногенных гидрогеохимических аномалий по отношению к фоновым концентрациям в природных водах приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Состав и контрастность техногенных гидрогеохимических аномалий в районе Депутатского месторождения олова

Контрастность относительно фоновых содержаний	Состав гидрогеохимических аномалий
1000 · n	Zn, Cu, Mn
100 · n	Co, Pb, La, SO ₄
10 · n	Ag, Mo, Sn, As, Mg, NH ₄
n	V, Cr

Заключение. Оловодобывающая отрасль на Северо-Востоке Якутии характеризуется высокими запасами полезных ископаемых при экстремальных природных условиях: резко-континентальном климате, скудной растительности, сложных мерзлотных и геоэкологических условиях.

Отрицательные экологические последствия разработки Депутатского месторождения олова имеют локальный характер по загрязнению атмосферы и литосферы и являются региональными по уровню техногенного давления на водные системы.

Высокое качество сырья определяет экономическую эффективность создания в Якутии крупной оловодобывающей промышленности. Для получения одной

тонны олова в концентрате из якутских месторождений при одинаковом уровне затрат на технику и рабочую силу потребуются меньше, чем в Приморском крае - в 3 раза, в Хабаровском крае и Магаданской области – в 1,5 раза. При устойчивом росте мирового спроса на олово: средняя цена на которое с 1 января 1993 по 18 января 2022 возросла на 647%: было 5 562, стало 41 553 \$/т, можно достичь неплохих финансовых показателей при дальнейшем освоении Депутатского месторождения. Однако одним из факторов, удорожающих освоение природных ресурсов республики, является отсутствие налаженной экономически эффективной транспортной схемы.

Резкий рост мирового спроса на металл определяет необходимость ускоренного освоения добычи оловянных руд в Саха (Якутия). Так, компания «Янолово» в ближайшие три года планирует удвоить инвестиции на развитие проекта по добыче олова в Усть-Янском районе Якутии. Россия располагает одной из крупнейших сырьевых баз олова в мире, которая могла бы обеспечить стране высокие позиции среди оловопроизводящих государств.

Создание и реализация системы природоохранных и компенсирующих мероприятий, в первую очередь в гидросфере, позволят обеспечить эффективную добычу олова с минимальным ущербом для северных геосистем и способствовать возрождению оловодобывающей отрасли республики.

Список цитированных источников

1. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования). – М. : Минздрав России, 2003 (с изменениями на 13.07.17).
2. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. – М. : Стандартинформ, 2006. – 15 с.
3. Единые правила охраны недр при разработке месторождений твердых полезных ископаемых/ Госготехнадзор СССР. – М : Недра, 1987. – 60 с.
4. Макаров, В. Н. Ионная (солевая) миграция химических элементов в природных водах криолитозоны. – Сборник докладов международной научной конференции Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология: от познания к мировоззрению» 24-27 марта 2020 г. Санкт-Петербургский государственный Университет. – Санкт-Петербург : ООО "Издательство ВВМ", 2020. – С. 957–962.
5. Макаров, В. Н. Техногенные геохимические потоки месторождений олова в арктической зоне Якутии / В. Н. Макаров, Б. К. Мокшанцев // В сб.: Формирование подземных вод криолитозоны. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 1992. – С. 48–65.
6. Матвеев, А. И. Технологическая оценка месторождений олова Якутии / А. И. Матвеев, Н. Г. Еремеева ; отв. ред. С. М. Ткач ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т горного дела Севера им. Н. В. Черского. – Новосибирск : Академическое изд-во “Гео”, 2011 – 119 с.
7. Мерзлые ландшафты Якутии. Пояснительная записка к Мерзлотно-Ландшафтной карте Якутской АССР масштаба 1 : 2 500 000 / Новосибирск : ГУГК, 1989. – 170 с.
8. Перспективы возрождения оловянной промышленности в республике Саха-

- Якутия. Электронный ресурс. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-vozhrozhdeniya-olovyanoy-promyshlennosti-v-respublike-saha-yakutiya>.
Источник : <https://cyberleninka.ru>. Дата обращения: 18.09.2019.
9. Перспективы добычи олова в России. Электронный ресурс. URL: <http://www.yktimes.ru>. Источник: YKTIMES.RU. Дата обращения: 11.06.2017.
 10. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). – М. : М АИК “Наука/Интерпериодика”, 2001 – 571 с.
 11. Участок «Западный» оловородного месторождения Депутатский. С-В Якутия. Электронный ресурс. URL: <https://www.google.com/intl/ru/photos/about/>. Источник: <https://www.google.com/intl/ru>. Дата обращения: : 16.07.2021.
 12. Шац, М. М. Дистанционные эколого-геокриологические исследования. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 1997. – 78 с.
 13. Шац, М. М. Геокриологические и геоэкономические аспекты освоения месторождений олова Яно-Индибирская провинция (Якутия) // Маркшейдерия и Недропользование. – № 5(103). – 2019 г. – С. 3–8.
 14. Шац, М. М. Геоэкологические особенности недропользования в Восточной Сибири / М. М. Шац, В. Н. Макаров // Всероссийская конференция с международным участием «Устойчивость природных и технических систем в криолитозоне», посвященная 60-летию образования ИМЗ СО РАН (28-30.09.2020 г.). – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО РАН. – С. 204–207.

УДК 631.895:663.269

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВОГО, ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОГО МИКРОУДОБРЕНИЯ «КОМПЛЕКС - КО» ДЛЯ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

А. Р. Микаелян¹, Г. С. Мартиросян¹, О. В. Токмаджян², Н. А. Микаелян²

¹Национальный аграрный университет Армении, Ереван, Армения,
agamrm@seua.am

²Шушинский технологический университет, Ереван, Армения, jhhinst@mail.ru

Аннотация

Оценено влияние комплексного препарата «Комплекс-Ко» с ростостимулирующим действием на возделывание зерновых культур, в частности на скорость кущения ячменя, полбы, тритикале из зерновых злаков. Препарат разработан в базовой лаборатории НПУА «Создание и контроль качества сельскохозяйственных пестицидов» и является продуктом кислотной обработки отходов виноделия: натурального винного камня и востребован в органическом земледелии, представляет собой комбинацию добавок (аминных производных природной винной кислоты, коламина и микроэлементов), обеспечивающих улучшение химико-биологических свойств почвы. Доказано, что стимулятор роста «Комплекс-Ко» также эффективен при внекорневой подкормке.

Ключевые слова: микроудобрение, стимулятор роста растений, хелатный комплекс, винная кислота, органическое земледелие, внекорневая подкормка.

THE EFFICIENCY OF NEW, ECOLOGICALLY SAFE MICRO-FERTILIZER "COMPLEX - CO" FOR THE CEREALS CULTIVATION

A. R. Mikaelyan, G. S. Martirosyan, H. V. Tokmajyan, N. A. Mikaelyan

Abstract

The study presents influence of a new complex preparation "Complex - Co", with plant growth stimulating effect on cereals cultivation. Influence on the speed of shed-off a barley, emmer, triticale from grain cereals was assessed. Preparation was developed in the base laboratory of NPUA "Creation and quality control of agricultural pesticides" and is product of acidic processing of waste of winemaking: natural cream of tartar. Preparation is in demand in green agriculture, is a combination of additives (amino derivatives of natural tartaric acid, colamine and micro-nutrient elements) providing the target properties and improves soil behavior. It is proved that the growth stimulator "Complex-Co" is also quite effective in foliar nutrition with grain cereals.

Keywords: micronutrient, plant growth stimulator, chelate complex, tartaric acid, green agriculture, foliar feeding.

Введение. Количество, качество и себестоимость выращиваемых сельскохозяйственных культур зависит не только от биологических особенностей растения, но и от внешней среды, в котором происходит их онтогенез. Основной задачей земледелия в естественных условиях является эффективное использование солнечной энергии для синтеза органического вещества. Для обеспечения нормальной деятельности растений, кроме света и тепла, также необходимы вода, питательные вещества, воздух (CO_2 и O_2), которые растения получают из почвы и окружающей среды. Повышение урожайности и жизнестойкости растений, а также получения качественной продукции возможно обеспечить с помощью инфокоммуникационных технологий (ИТ) мониторинга и управления как самого процесса выращивания растения, так и окружающей среды (почвы и атмосферы, изменения климатических условий), и вносимых в почву удобрений и недостающей поливной воды [1, 2].

Причиной уменьшения влажности в естественных условиях является не только продолжающиеся повышение температуры окружающей среды и снижение количества осадков, а также длительное антропогенное воздействие человека на почву. С увеличением мощностей сельскохозяйственной техники, интенсивности земледелия, глубины обработки земель, применения усиленного разрыхления и традиционного переворачивания пласта, создаются условия для быстрого и безвозвратного истощения почвы [3].

Дефицит питательных микроэлементов является основным препятствием для производства зерновых в будущих сельскохозяйственных программах. Микроудобрения приобретают все большее значение и будут играть важную роль в обеспечении стабильности и устойчивости производства продовольственного зерна и бобовых в предстоящем десятилетии. Одним из возможных направлений

создания новых эффективных препаратов, содержащих микроэлементы, является получение соединений с регулируемой растворимостью и стабильностью в водной и почвенной среде. В этом вопросе большое значение приобретает специальное использование их хелатирующих комплексов [4].

Известны три основных класса источников микроэлементов: неорганические, синтетические хелаты и природные органические комплексы. Неорганические источники являются наиболее распространенными солями металлов, используемыми в производстве удобрений, из-за их доступности и растворимости в воде. В последние 35–40 лет было признано, что соединения, содержащие хелатные металлы, могут удовлетворить многие потребности растений в питательных микроэлементах [5]. Эти хелаты находят применение при выращивании широкого спектра сельскохозяйственных злаков. Области применения хелатов варьируются от добавок к удобрениям, при протравливания семян до опрыскивания листвы и гидропоники. Хелатирующие агенты сильно влияют на эффективность применения микроудобрений и степень усвоения микроэлементов растениями, в результате чего растения усваивают микроэлементы в 6 – 10 раз лучше, чем их сульфаты или хлориды [6].

Без удобрений-N мировое производство продовольствия было бы достаточно менее чем для половины нынешнего населения, составляющего 7,3 миллиарда человек [7]. Тенденции применения удобрений-N, азота, собранного культурой на гектар, показали линейный рост с 1961 по 2010 год, со средними значениями за 50 лет 78 кг га^{-1} для кукурузы, 60 кг га^{-1} для риса и 56 кг га^{-1} для пшеницы [8]. Почти половина поставляемого азотного удобрения не используется зерновыми и теряется в экосистеме в результате улетучивания, стока или выщелачивания [9]. Эти потери приводят к экологическим проблемам, таким как выброс парниковых газов, загрязнение водоемов, подкисление почвы или сокращение биоразнообразия. Ожидается, что уровень загрязнения атмосферы азотом к 2050 г. будет на 102–156 % выше, чем в 2010 г., при этом на сельскохозяйственный сектор придется 60 % этого увеличения [10]. Сельское хозяйство было признано основным источником загрязнения выщелачиванием нитратов [11]. Выщелачивание азота связано не только с количеством вносимых удобрений, но и с другими переменными, такими как время и место внесения удобрений в зависимости от цикла выращивания зерновых, режимы орошения, тип удобрений, агротехнические приемы, севооборот, характеристики почвы, тип почвенного покрова, климат и др. [12].

Аналогичные проблемы существуют и в Армении из-за широкого применения азотных удобрений в районе озера Севан. В частности, в последние годы наблюдается увеличение содержания азота в воде, что приводит к образованию зеленых водорослей и эвтрофикации. Использование хелатирующих микроудобрений в современном сельском хозяйстве приводит к сокращению расхода традиционных азотсодержащих удобрений. Учитывая вышеизложенное, в базовой

лаборатории Национальной политехнической университета Армении «Создание и контроль качества сельскохозяйственных пестицидов» разработана простая и доступная технология кислотной обработки винно-дрожжевых отложений винного камня [13]. На основе этой технологии разработан новый комплексный препарат «Комплекс-Ко» с ростостимулирующим действием. Препарат отличается доступным и безотходным способом производства. Основными преимуществами являются высокая восприимчивость растений к действующим веществам, низкая стоимость и нормы расхода, нетоксичность для человека и объектов окружающей среды [14].

Материалы и методы. На первом этапе технологии получения препарата «Комплекс-Ко», натуральный винный камень подвергается кислотной обработке, после чего вся винная кислота растворяется. Затем вносятся микроэлементы в виде солей. С целью регуляции pH добавляется моноэтаноламин (коламин) и вносится дополнительный азот. Для обеспечения дезинфицирующих свойств препарата в состав была включена бензиламино комплексная соль винной кислоты. Последнее соединение было синтезировано нами, а его антимикробная активность оценивалась на ряде фитопатогенных микроорганизмов *in vitro* [15, 16].

Содержание различных микроэлементов и активных добавок в 1 л препарата и некоторые физические параметры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Состав препарата «Комплекс-Ко» и физические характеристики

Содержание микроэлементов и добавок г/л:								pH	d ₄ ²⁰
Fe	Zn	Cu	B	K	SO ₄	МЕА (коламин)	BAS		
6	8.7	12.5	5	28	79	142.5	20	3.6	1.31

С целью изучения воздействия препарата «Комплекс-Ко», который является протравителем семян, микроудобрением и стимулятором роста растений, на эффективность возделывания сельскохозяйственных культур, опыты проводились в условиях водообрабатываемых, окультуренно-орошаемых почв Эчмиадзинского района Армавирской области, Республики Армения.

Посев тритикале производился ежегодно во второй декаде октября (6,0 млн. шт). Посев ярового ячменя и бука во второй декаде марта составил соответственно с нормой зародышевого зерна: 5,0 млн. шт и 4,5 млн. шт. Опыты проводились в трех вариантах, с четырехкратной повторностью, расчетная площадь испытательного поля составила 25 м². Для этого семена бобовых культур (ячмень, эммер, тритикале) перед посевом обрабатывали 1,5% раствором препарата с целью борьбы с грибковыми заболеваниями. В период обмолота на осеннем тритикалевом поле поздней осенью (29.11.2021), ранней весной (06.05.2022) на растительность наносили 1% раствор того же препарата для наружной корневой подкормки.

Результаты и обсуждение. Влияние препарата «Комплекс-Ко» на всхожесть и длительность всхожести изучаемых злаков обобщены в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние «Комплекс-Ко» на скорость роста ячменя, полбы и тритикале

Культура	Вариант	Высота растения в стадии кущения, см	Степень кустистости		Высота растения в фазе колошения, см	Длина колос, см	Количество зёрен с колоса, шт.
			общая	продуктивная			
Ячменя	Контроль	13.5	2.11	1.97	71.4	7.4	31.2
	Разработанный	16.7	3.22	2.24	88.3	9.8	39.8
Полба	Контроль	12	1.91	1.02	64.3	5.3	24.7
	Разработанный	14.7	2.42	1.92	71.3	6.4	30.1
Тритикале	Контроль	17.9	3.24	2.01	161.3	9.7	45.4
	Разработанный	20.9	4.15	2.97	187.4	11.9	55.5

Данные таблицы 2 показывают, что препарат оказывает существенное влияние на скорость роста растений как в фазе кущения, так и на высоту в фазе колошения. Высота последних увеличилась на 2,0-3,5 см по сравнению с контролем у опытных вариантов в фазе кущения, причем в фазе колошения эта разница стала более выраженной. Так, если препарат «Комплекс-Ко» на стадии листа способствовал увеличению высоты растений полбы на 10,3 см, ячменя на 9,2 см, то у тритикале эта разница достигла беспрецедентных величин, достигнув 28,1 см, что играет решающую роль в повышении урожая соломы.

Заключение. Таким образом, препарат «Комплекс-Ко», полученный по оптимизированной технологии, показал достаточно высокую эффективность на зерновых злаках как для предпосевной обработки семян, так и при использовании в качестве внекорневой подкормки. Препарат можно использовать в течение всей вегетации зерновых культур, что позволит снизить расход азотных удобрений, что является одной из основных целей зеленого земледелия. Необходимы дальнейшие исследования для других культур, в зависимости от вида, чтобы определить диапазон наилучших концентраций рабочей жидкости и нормы внесения.

Благодарности. Исследование проведено при поддержке Государственного Комитета по науке РА в рамках исследовательского проекта № 21Т-4В070: «Оценка эффективности выращивания новых сортов зерновых культур в зеленом земледелии».

Список цитированных источников

1. Vartanyan, A. A. Management of Processes of Growing Winter Crop in Rainfed Conditions Using Innovative Technological Solutions / A. A. Vartanyan, M. V. Markosyan, V. H. Tokmajyan, S. B. Galstyan // Bulletin of High Technology. – 2020. – N2 (12). – С. 3–13.

2. Galstyan, S. B. The Regulation of Water Regime of Field Crops and Decorative Woody Plants in Natural Conditions by Applying Polymer-Mineral Raw Material / S. B. Galstyan, A. H. Vardanyan, V. H. Tokmajyan, N. E. Gorshkova and all. // *Bulletin of High Technology*. – 2020. – N1 (11). – С. 11–15.
3. Вартамян, А. А. Результаты некоторых натуральных исследований выращивания растений с применением материалов Н1 и ПММ / А. А. Вартамян, А. А. Шахназаров, В. О. Токмаджян, С. Б. Галстян // *Известия Высших Технологий*. – 2020. – N3 (14). – С.103–107.
4. Y. Zuo, F. Zhang, Soil and crop management strategies to prevent iron deficiency in crops, *Plant Soil* 339 (1–2) (2011) 83–95.
5. Abdelhameed R. M., Abdelhameed R. E., Kamel H. A. // Iron-based metal-organic frameworks as fertilizers for hydroponically grown *Phaseolus vulgaris*. // *Mater Lett*. 237. – 2019. – P. 72–79.
6. Mengel K., Kirby E. A., Kosegarten H. and Appel T. // *Principles of Plant Nutrition*, Kluwer Academic Publisher. –2001.
7. Connor, D. J. Organic agriculture cannot feed the world. *Field Crops Res.* 106, 187–190 (2008).
8. Ladha, J., Tirol-Padre, A., Reddy, C. et al. Global nitrogen budgets in cereals: A 50-year assessment for maize, rice and wheat production systems. *Sci Rep* 6, 19355 (2016).
9. Billen, G.; Garnier, J.; Lassaletta, L. The nitrogen cascade from agricultural soils to the sea: Modelling nitrogen transfers at regional watershed and global scales. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 2013, 368, 20130123.
10. Boudry, B. L.; Popp, A.; Lotze-Campen, H.; Dietrich, J. P.; Rolinski, S.; Weindl, Reactive nitrogen requirements to feed the world in 2050 and potential to mitigate nitrogen pollution. *Nat. Commun.* 2014, 5, 1–7.
11. Ball D. , MacDonald A., Lilly A. Agriculture and diffuse pollution: Groundwater nitrate vulnerable zones in Scotland. *Scott. J.Geol.* 2005, 41. – P. 61–68.
12. Barton, L.; Colmer, T.D. Irrigation and fertiliser strategies for minimising nitrogen leaching from turfgrass. *Agric. Water Manag.* 2006, 80. – P. 160–175.
13. Babayan B. G., Mikaelyan A. R., Asatryan N. L., Vardanyan A. S. The Effect of New Complex Phytostimulator on Plants of Different Taxonomic Groups Based on Natural Tartaric Acid // *Shirak State University, Collection of Scientific Papers*. – 2019. – V. 2. – P. 116–115.
14. Aram R. Mikaelyan, Bella G. Babayan, Gagik H. Nersisyan, Anna M. Grigoryan // The Study of Tartaric Acid Based New Complex Preparation of Plant Growth Activation / *Bulletin of High Technology*, N1(15), 2021, Agriculture, pp. 10–20. <http://bulletin.am/wp-content/uploads/2021/08/2.pdf>.
15. Bella G. Babayan, Aram R. Mikaelyan, Nona L. Asatryan, Marina A. Melkumyan, et al Tartaric Acid New Synthetic Derivatives Antibacterial Activity against the Phytopathogenic *Pseudomonas syringae* // 2nd International Conference on Advanced Research in Science, Engineering, and Technology (ICARSET). – Mar 26-28. – 2019. – Paris, France. – P. 53–55.
16. B. G. Babayan, A. R. Mikaelyan, M. A. Melkumyan et al Tartaric Acid Synthetic Derivatives for Multi-Drug Resistant Phytopathogen *Pseudomonas* and *Xanthomonas* Combating // *Science and Technology Publishing*. – 2020. – 4(5). – P. 285–290.

**ФЛОРИСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАССЕЙНОВ СРЕДНИХ РЕК
БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ С РАЗНЫМ УРОВНЕМ
АНТРОПОГЕНИЗАЦИИ ЛАНДШАФТОВ**

А. Н. Мялик¹, В. И. Парфенов²

¹Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
aleksandr-myalik@yandex.by

²Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси,
Минск, Беларусь, nan.botany@yandex.by

Аннотация

В статье проанализированы флористические особенности бассейнов рек центральной части Белорусского Полесья с разной степенью антропогенной трансформации ландшафтов. Установлено, что влияние антропогенных факторов отражается на видовом богатстве региональных флор, соотношении в них аборигенных и адвентивных видов. Флоры бассейнов Ствиги и Щары, для которых характерна низкая степень антропогенизации ландшафтов, в большей мере сохраняют естественные черты и имеют минимальные показатели индексов адвентизации и синантропизации. Для флор бассейнов со средней, высокой и максимальной степенью антропогенизации ландшафтов (Ясельда, Горынь, Случь) данные показатели значительно выше.

Ключевые слова: Белорусское Полесье, трансформация флоры, бассейны рек, антропогенизация ландшафтов.

**FLORISTIC FEATURES OF BASINS OF MIDDLE RIVERS OF THE
BELARUSIAN POLESIE WITH DIFFERENT LEVEL OF LANDSCAPE
ANTHROPOGENIZATION**

A. M. Mialik, V. I. Parfenov

Abstract

The article analyzes the floristic features of the river basins of the central part of the Belarusian Polesie with varying degrees of anthropogenic transformation of landscapes. It has been established that the influence of anthropogenic factors is reflected in the species richness of regional floras, the ratio of native and adventitious species in them. The floras of the Stviga and Shchara basins retain their natural features to a greater extent and have minimal adventitization and synanthropization indices. These territories are characterized by a low degree of landscape anthropogenization. For the floras of basins with an average, high and maximum degree of landscape anthropogenization (the Yaselda, Goryn, and Sluch rivers), these indicators are much higher.

Keywords: Belarusian Polesie, flora transformation, river basins, landscape anthropogenization.

Введение. Территория Белорусского Полесья является крупнейшим регионом Беларуси сохранившим свои естественные природные черты, но в то же время и испытавшим мощное антропогенное воздействие на ландшафты. Масштабная осушительная мелиорация, сельскохозяйственное освоение земель, вырубка лесов, строительство населенных пунктов и дорог, а также добыча полезных ископаемых и ряд других факторов существенно повлияли на состояние биоразнообразия данной территории, в том числе и растительного мира. При этом именно антропогенная трансформация флоры, проявляющаяся в исчезновении уязвимых аборигенных видов и заносе новых чужеродных растений, нередко рассматривается как один из важных индикаторов преобразования природной среды [1, 2].

Изучение трансформации естественной флоры Белорусского Полесья под влиянием антропогенных факторов началось с 1960-х гг., когда была выполнена оценка динамики лугово-болотной флоры и растительности под влиянием осушения [3]. В дальнейшем были доказаны отрицательные антропогенные изменения во флоре Белорусского Полесья, которые проявились в сокращении ареалов и исчезновении уязвимых видов, смене коренных естественных фитоценозов синантропными, увеличении доли адвентивных видов. Дальнейший прогноз развития флоры определялся утратой ею своих зональных особенностей, а также в сохранности относительно естественного облика в пределах охраняемых природных территорий [4].

С прекращением интенсивных мелиоративных работ в Белорусском Полесье в последние десятилетия произошли дальнейшие изменения в растительном покрове, анализ которых позволяет оценить состояние флоры в постмелиоративный период. При этом важной составляющей при изучении влияния антропогенных факторов на состав и структуру флоры является выявление ее гетерогенности в рамках отдельных природных субрегионов, в том числе и с различным уровнем преобразования ландшафтов. Использование данного подхода позволяет оценить гетерогенность флоры территории, а также определить роль антропогенного фактора в утрате флорой своих естественных зональных особенностей, на что указывает ряд авторов для других природных регионов [1, 5].

В соответствии с вышесказанным целью данной работы – показать флористические особенности отдельных субрегионов Белорусского Полесья с разным уровнем антропогенной трансформации ландшафтов.

Материалы и методы. Поскольку территория, в пределах которой проводится оценка разнообразия флоры, должна быть по возможности очерчена естественными природными рубежами, для этой цели были выбраны водосборные бассейны средних рек Ясельды, Щары, Случи, Горыни и Ствиги. Они расположены в различных частях Белорусского Полесья относительно схемы геоботанического районирования [6], а также имеют разную степень антропогенной трансформации ландшафтов [7].

Для выявления флористических особенностей различных бассейнов рек Белорусского Полесья использовались общепринятые методы сравнительной флористики. Таксономическая структура флоры проанализирована с учётом методических положений А. И. Толмачёва [8] и с помощью метода анализа таксономических спектров А. П. Хохрякова [9]. Ботанико-географический анализ аборигенных видов выполнен согласно схеме географических элементов флоры Беларуси, предложенной Н. В. Козловской [10]. Для оценки уровня синантропизации и антропогенной трансформации флоры использованы индексы ее синантропизации, апофитизации и адвентизации [11].

При составлении видовых списков флоры для каждого из рассматриваемых бассейнов рек использовались данные собственных экспедиционных исследований, выполненных в 2012-2020 гг. в пределах центральной части Белорусского Полесья, материалы различных гербарных коллекций и другие фондовые данные, а также литературные сведения.

Результаты и обсуждение. В результате проведенных исследований выявлен видовой состав флоры сосудистых растений для каждого из рассматриваемых бассейнов рек. С учетом деления видов на аборигенную и адвентивную фракции представляется возможным оценить репрезентативность спонтанной флоры каждого из бассейнов, ее аборигенной флоры, а также определить индекс ее адвентизации (таблица 1).

Таблица 1 – Количественная характеристика флор речных бассейнов Белорусского Полесья

Бассейн реки	Спонтанно произрастающие виды					Индекс адвентизации
	общее кол-во	репрезентативность, %	в том числе			
			аборигенные	репрезентативность, %	адвентивные	
Ясельда [12]	1143	75,20	687	78,07	456	0,39
Щара	905	59,54	593	67,39	312	0,34
Случь	789	51,91	492	55,91	297	0,38
Горынь	938	61,71	598	67,95	340	0,36
Ствига	1126	74,08	743	84,43	383	0,34
Припятское Полесье [13]	1520		880		640	0,42

Представленные в таблице данные демонстрируют, что репрезентативность спонтанных флор речных бассейнов является различной в отношении Припятского Полесья, где эти территории располагаются. Данный показатель зависит как от естественных природных факторов (физико-географическое положение бассейна, его конфигурация, площадь, зональные особенности растительного покрова), так и от степени трансформации ландшафтов. Соответственно, спонтанные флоры бассейнов рек Ясельды и Стви́ги, имеющих наибольшую пло-

щадь и достаточно высокую сохранность природных ландшафтов характеризуются самой высокой репрезентативностью – 75,20 % и 74,08 % соответственно. Репрезентативность спонтанных флор бассейнов с высокой степенью антропогенной трансформации ландшафтов значительно ниже: Горыни – 61,71 %, а Случи – всего 51,91 %. Для бассейна Щары данный показатель также не высокий (59,54 %), однако здесь необходимо учитывать крайнее северное положение данной территории, где ряд теплолюбивых видов флоры Белорусского Полесья отсутствует по естественным природным причинам (северные границы ареалов многих лесостепных видов не достигают бассейна Щары).

Явная взаимосвязь наблюдается также между количеством аборигенных видов и степенью антропогенизации ландшафтов в пределах изученных речных бассейнов. В соответствии с этим флора бассейна Случи, имеющего максимальную трансформацию ландшафтов, представлена только 492 видами (55,91 % от общего числа аборигенных видов Припятского Полесья), Горыни – 598 видами (67,95 %), а флора бассейна реки Ствиги (трансформация его ландшафтов изменяется от низкой до минимальной) представлена 743 аборигенными видами, и, тем самым, репрезентирует 84,43 % аборигенного фиторазнообразия сосудистых растений всей центральной части Белорусского Полесья.

Информативным показателем, позволяющим оценить уровень трансформации флоры под влиянием техногенных факторов, является индекс ее адвентизации, представляющий отношение адвентивных видов к общему числу спонтанно произрастающих растений. Максимальный индекс адвентизации флоры выявлен для бассейнов Ясельды (0,39), Случи (0,38) и Горыни (0,36), антропогенная трансформация ландшафтов которых изменяется от средней до высокой и максимальной. Природные ландшафты бассейнов рек Щары и Ствиги трансформированы в минимальной степени, соответственно индексы адвентизации их спонтанных флор наиболее низкие и не превышают отметку в 0,34.

В сравнительной флористике одним из важнейших показателей является таксономическая структура флоры, анализ которой позволяет выявить ряд ее особенностей, обусловленных как природными, так и антропогенными факторами [14]. В таблице 2 представлены некоторые показатели таксономической структуры аборигенных фракций флор речных бассейнов Белорусского Полесья.

Таблица 2 – Особенности таксономической структуры аборигенных флор сравниваемых речных бассейнов

Бассейн реки	Тип флоры	Подтип флоры	Ранг семейства <i>Orchidaceae</i>
Ясельда	<i>Cyperaceae</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	10
Щара	<i>Cyperaceae</i>	<i>Fabaceae</i>	12
Случь	<i>Cyperaceae</i>	<i>Caryophyllaceae</i>	18
Горынь	<i>Cyperaceae</i>	<i>Scrophulariaceae</i>	15
Ствига	<i>Cyperaceae</i>	<i>Scrophulariaceae</i>	11
Припятское Полесье	<i>Cyperaceae</i>	<i>Scrophulariaceae</i>	11

Выполненный таксономический анализ показывает, что все речные бассейны по расположению ведущих по числу видов семейств схожи между собой и соответствуют флоре всего Припятского Полесья. Согласно методам анализа таксономических спектров, предложенным А.П. Хохряковым [9], где тип флоры определяет третье по числу видов семейство, а подтип – четвертое, все аборигенные флоры относятся к *Superaceae*-типу. Тем самым по таксономическому составу они соответствуют флорам «зоны осоковых», которая занимает северную часть Евразии [15]. Флоры бассейнов рек Горыни и Ствиги, как и флора всего Припятского Полесья, относятся к *Scrophulariaceae*-подтипу, а бассейнов Ясельды и Случи – к *Caryophyllaceae*-подтипу. Аборигенная флора бассейна Щары, территория которого расположена в пределах Предполесья, относится к *Fabaceae*-подтипу, чем более близка к флорам центральной части Европы. Последняя особенность объясняется более весомым участием в её составе некоторых центральноевропейских видов из семейства *Fabaceae*.

Рассматривая соотношение отдельных семейств в таксономических спектрах, можно выявить также последствия антропогенных воздействий на ландшафты. В частности, положение семейства *Orchidaceae* на ведущих позициях можно принимать как индикатор естественного состояния природных условий формирования флоры конкретного природного региона, что обусловлено высокой уязвимостью различных видов Орхидных. Соответственно, в спектрах ведущих семейств флор бассейнов Горыни и Случи, ландшафты которых изменены в максимальной степени, это семейство занимает наиболее низкие позиции – 15 и 18 соответственно. Во флорах бассейнов Ясельды, Щары и Ствиги, ландшафты которых характеризуются средним и низким уровнем антропогенной трансформации, ранг семейства *Orchidaceae* поднимается на 10–12 позиции.

Важнейшим экологическим последствием антропогенных воздействий на природную фитосреду является синантропизация флоры, под которой понимается проникновение в местную флору заносных видов, которые вместе с аборигенными заселяют нарушенные хозяйственной деятельностью человека местообитания [16]. В таблице 3 представлена структура синантропной фракции флор разных речных бассейнов.

Таблица 3 – Количественная характеристика синантропных флор речных бассейнов Белорусского Полесья

Бассейн реки	Синантропная фракция флоры				Индекс синантропизации	Индекс апофитизации
	общее кол-во видов	репрезентативность, %	в том числе			
			апофитов	антропофитов		
Ясельда	718	78,47	265	453	0,63	0,37
Щара	545	59,56	236	309	0,60	0,43
Случь	511	55,85	215	296	0,65	0,42
Горынь	584	63,82	246	338	0,62	0,42
Ствига	639	69,84	259	380	0,57	0,40
Припятское Полесье [17]	915		281	634	0,60	0,31

Согласно выполненным исследованиям на территории всего Припятского Полесья насчитывает 915 аборигенных и адвентивных видов, произрастающих в пределах нарушенных местообитаний [17]. Соответственно индекс синантропизации флоры центральной части Белорусского Полесья равен 0,60, что свидетельствует о преобладании антропогенных процессов в ее развитии над природными. Полученные результаты показывают, что данный показатель достаточно тесно связан с уровнем антропогенизации ландшафтов территорий. Так, индекс синантропизации флоры бассейна реки Случь составляет 0,65, Горыни – 0,62, Ясельды – 0,63. Природные ландшафты именно этих территорий характеризуются высокой и максимальной степенью антропогенной трансформации. Для флоры бассейна реки Щары этот показатель несколько ниже и равен 0,60. В наибольшей мере сохраняет естественные черты флора бассейна реки Стви́ги, так как индекс ее синантропизации составляет всего 0,57. Важно отметить, что именно для этой территории свойственна низкая и минимальная степень антропогенизации природных ландшафтов [7].

Отдельно стоит остановиться на таком показателе, как индекс апофитизации, который оценивает вклад видов апофитов (аборигенных видов, способных произрастать в антропогенно-измененных местообитаниях) в формирование синантропной флоры. Данный показатель изменяется от 0,37 (бассейн Ясельды) до 0,43 (бассейн реки Щары). Вполне логично, что на территории бассейна реки Щары, ландшафты которого в пределах Припятского Полесья имеют достаточно низкий уровень трансформации, синантропные местообитания занимают преимущественно представители аборигенной фракции флоры.

К важнейшим особенностям любой флоры относится ее ботанико-географическая структура, которая позволяет прояснить генезис аборигенных видов. С учетом того, что в результате антропогенной трансформации флора теряет свои естественные зональные черты, нами рассмотрена гетерогенность географической структуры флоры разных речных бассейнов в широтном диапазоне ареалов видов (рисунок 1).

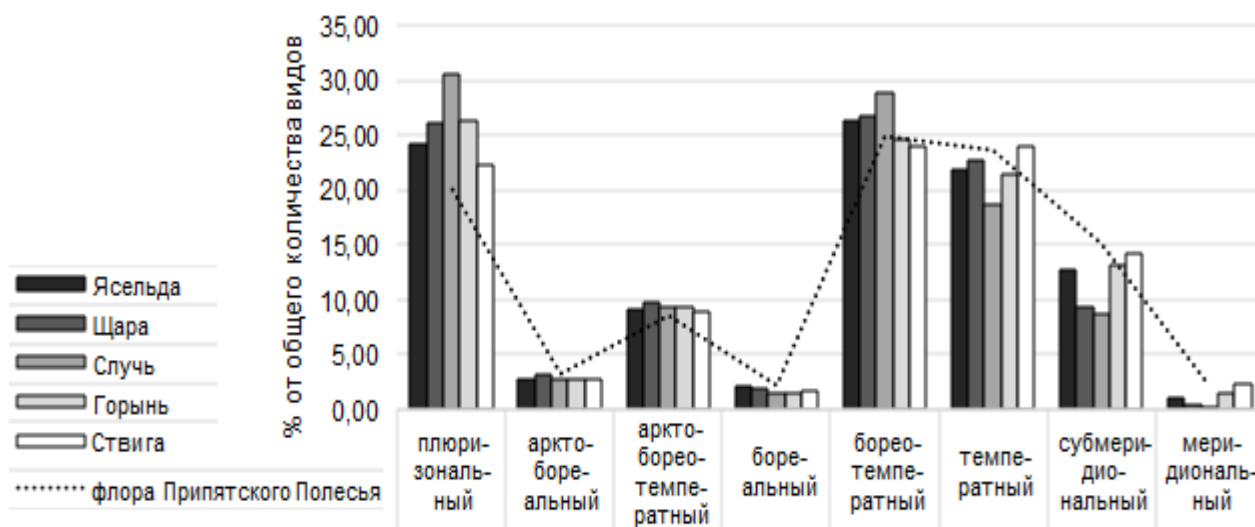


Рисунок 1 – Распределение видов по широтным географическим элементам

Представленный спектр широтных географических элементов демонстрирует взаимосвязь между видовым составом аборигенной фракции флоры конкретного речного бассейна и теплообеспеченностью территории, где она сформировалась и развивается. Распределение типов ареалов в широтном диапазоне показывает, что географическая структура аборигенных флор отдельных бассейнов в целом соответствует таковой всего Припятского Полесья. Здесь также более многочисленными являются широкоареальные плюризональные, а также умеренно теплолюбивые бореально-температные и температурные виды. Особенности географической структуры аборигенных флор отдельных бассейнов обусловлены их физико-географическим положением. В соответствии с этим во флорах бассейнов Щары, Случи и Ясельды, имеющих генетическую связь с Предполесьем, участие аркто-бореальных, бореальных и бореально-температных видов выше (более чем на 1 %), в сравнении с флорами бассейнов Горыни и Ствиги, расположенных южнее. Последнее обстоятельство обусловлено фитохорологическими особенностями центральной части Белорусского Полесья, вследствие чего холодостойкие виды не достигают южной части изучаемого региона, а ареалы ряда теплолюбивых растений ограничиваются крайним югом Беларуси.

Со степенью антропогенных воздействий на естественные ландшафты можно связать более высокое участие (на 5–6 %) широкоареальных плюризональных видов в составе аборигенных флор бассейнов Случи и Горыни, имеющих высокую и максимальную степень антропогенизации ландшафтов. Доля видов с узким географическим ареалом во флорах этих бассейнов значительно ниже. Например, теплолюбивые меридиональные виды во флоре бассейна Ствиги составляют 2,28 %, а во флоре рядом расположенного бассейна реки Горыни – всего 1,34 %.

Таким образом, влияние антропогенных факторов проявляется в соотношении узкоареальных широтных геоэлементов, участие которых во флорах антропогенно преобразованных территорий становится менее существенным, при возрастающей роли широкоареальных представителей флоры. Последнее указывает на унификацию географической структуры аборигенных флор природных территорий, подвергшихся значительному антропогенному воздействию и утрату ими своей ботанико-географической индивидуальности и естественных зональных особенностей.

Заключение. Результаты проведенных исследований показывают, что флористическая неоднородность территории Белорусского Полесья является следствием воздействия природных и антропогенных факторов в различном их соотношении и напрямую связана с уровнем антропогенизации ландшафтов. Она проявляется в репрезентативности аборигенных флор отдельных речных бассейнов, уровне их адвентизации и синантропизации. Результатом совокупного антропогенного воздействия на природные ландшафты является унификация флор и утрата ими своих зональных особенностей.

Список цитированных источников

1. Бурда, Р. И. Антропогенная трансформация флоры / Р. И. Бурда. – Киев : Наук. думка, 1991. – 168 с.

2. Козловская, О. В. Раритетный компонент как индикатор антропогенной трансформации флоры / О. В. Козловская, Ю. В. Беляева // Самарский научн. Вестн. – 2016. – Т. 6, № 1 (18). – С. 37–40.
3. Парфёнов, В. И. Динамика лугово-болотной флоры и растительности Полесья под влиянием осушения / В. И. Парфёнов, Г. А. Ким. – Минск : Наук. и техн., 1976. – 192 с.
4. Парфёнов, В. И. Флора Белорусского Полесья. Современное состояние и тенденции развития / В. И. Парфёнов. – Минск : Наук. и техн., 1983. – 295 с.
5. Kornas, J. Oddziaływanie człowieka na florę: mechanizm i konsekwencje / J. Kornas // Wiadom. Bot. – 1981. – Т. 25. – S. 165–182.
6. Нацыянальны атлас Беларусі / Кам. па зямел. рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэсп. Беларусь. – Мінск : Белкартаграфія, 2002. – 292 с.
7. Марцинкевич, Г. И. Функциональная типология и структура трансформированных ландшафтов Белорусского Полесья / Г. И. Марцинкевич, И. И. Счастливая, И. П. Усова // Земля Беларуси. – 2010. – № 3. – С. 24–27.
8. Толмачёв, А. И. Введение в географию растений / А. И. Толмачёв. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. – 244 с.
9. Хохряков, А. П. Таксономические спектры и их роль в сравнительной флористике / А. П. Хохряков // Бот. журн. – 2000. – Т. 85, № 5. – С. 1–11.
10. Козловская, Н. В. Флора Белоруссии, закономерности её формирования, научные основы использования и охраны / Н. В. Козловская. – Минск : Наук. и техн., 1978. – 128 с.
11. Горчаковский, П. Л. Синантропизация растительного покрова в условиях заповедного режима / П. Л. Горчаковский, Е. В. Козлова // Экология. – 1998. – № 3. – С. 171–177.
12. Ясельда / И. В. Абрамова [и др.]; под общ. ред. А. А. Волчека, И. П. Кирвеля, Н. В. Михальчука. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 415 с.
13. Мялик, А. Н. Гетерогенность флоры Припятского Полесья (на примере бассейнов средних рек) / А. Н. Мялик // Весн. Палеск. дзярж. ун-та. Сер. прыродазн. навук. – 2018. – № 1. – С. 77–83.
14. Шмидт, В. М. Статистические методы в сравнительной флористике / В. М. Шмидт. – Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. – 176 с.
15. Мялик, А. Н. Особенности таксономического состава аборигенной фракции флоры Припятского Полесья / А. Н. Мялик // Ботаника (исследования) : сб. науч. тр. / Ин-т эксперимент. бот. НАН Беларуси. – Минск, 2019. – Вып. 48. – С. 89–97.
16. Горчаковский, П. Л. Антропогенные изменения растительности: мониторинг, оценка, прогнозирование / П. Л. Горчаковский // Экология. – 1984. – № 5. – С. 3–16.

17. Мялик, А. Н. Синантропизация флоры Припятского Полесья как показатель её антропогенной трансформации / А. Н. Мялик, В. И. Парфёнов // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2018. – Т. 63, № 3. – С. 276–285.

УДК 504.062.2:504.453

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ГИДРОГРАФИЧЕСКОЙ СЕТИ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ КАК ОСНОВА ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРОДСКИХ ГЕОТЕХСИСТЕМ

Е. П. Овчарова, Е. В. Санец, О. В. Кадацкая

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
geosystem1@rambler.ru

Аннотация

Для 38 городов Беларуси (крупных, больших и средних) проведена типизация пространственной организации гидрографической сети с учетом ее главных элементов по основным (расположение основной реки и притоков относительно территории города) и дополнительным (специфика гидрографической сети конкретного города) классификационным признакам. Наиболее благоприятная ситуация для устойчивого развития городских геотехсистем складывается там, где тип гидрографической сети относится к гранично-диаметральному с радиально-лучевым или гранично-лучевым положением притоков. В наименее благоприятном положении находятся города, где тип гидрографической сети граничный или гранично-периферийный с гранично-лучевым положением притоков или вовсе без них, а также с мелиорированной гидрографической сетью.

Ключевые слова: гидрографическая сеть, тип пространственной организации, городские геотехсистемы, устойчивое развитие города, крупные, большие и средние города.

SPATIAL ORGANIZATION OF THE HYDROGRAPHIC NETWORK OF THE CITIES IN BELARUS AS A BASIS FOR THE URBAN GEOTECHSYSTEMS SUSTAINABLE DEVELOPMENT

A. P. Aucharova, E. V. Sanets, O. V. Kadatskaya

Abstract

The typization of the hydrographic network spatial organization was carried out for 38 cities of Belarus (large, big and medium-sized). The typization was made taking into account the main elements of the hydrographic network and was based on the main (location of the main river and tributaries relative to the city territory) and additional (specifics of the hydrographic network of the city) classification features. The most favorable situation for the sustainable development of the urban geotechnical systems was noted in the cities where the hydrographic network had the boundary-diametrical type with the radial or boundary tributaries position. The least favorable position was noted in the cities where the hydrographic network had boundary or boundary-peripheral type with the boundary tributaries position or without them as well as with a meliorated hydrographic network.

Keywords: hydrographic network, type of spatial organization, urban geotechnical systems, sustainable development of the city, large, big and medium cities.

Введение. Современный город – это сложная и постоянно развивающаяся геотехсистема, в которой взаимосвязанные водно-зеленые пространства и другие открытые незастроенные озелененные территории являются важной его составляющей, наряду с искусственной застройкой различного назначения. Зачастую структура города, т.е. состав и взаимосвязи его отдельных элементов, предопределены природными факторами – рельефом, зелеными насаждениями, акваториями.

Красота естественных пейзажей или гармоничное сочетание природного и искусственного в преобразованной городской среде всегда вызывают положительную реакцию людей. Городская среда должна быть биологически здоровой, т.е. способствовать нормальному протеканию жизненных функций организма человека, а экологический аспект реализуется через необходимые для человека взаимосвязи с естественной природой. Эстетический аспект формирования городской среды выражается через синтез естественного и искусственного (Сычева, 2004).

Несмотря на сильное техногенное преобразование гидрографической сети в городах, она по-прежнему остается уникальным природным базисом, обеспечивающим устойчивое развитие геотехсистем, поскольку разнообразие экосистем, как правило, сохраняется лучше всего в пределах речных долин, особенно это касается пойм и прилегающих к ним территорий. Кроме того, гидрографическая сеть обеспечивает непрерывную связь с пригородными территориями, а также дискретность городской застройки, поддерживая определенную комфортность проживания в больших массивах застроенных пространств, а благодаря ландшафтам речных долин и прибрежных территорий обладает эстетической ценностью (Кадацкая, 2018).

Материалы и методы. Оценка пространственной организации гидрографической сети проведена на примере 38 городов, из них 1 крупнейший (г. Минск), 5 крупных (население 300–500 тыс. чел.), 8 больших (100–300 тыс. чел.) и 24 средних (20–100 тыс. чел.).

В качестве картографической основы для характеристики гидрографической сети использовалась Публичная кадастровая карта, размещенная на Интернет-сайте Национального кадастрового агентства Республики Беларусь. В максимальном увеличении масштаб карты соответствует плану масштаба примерно 1:1450 (в 1 см 14,5 м).

Элементы гидрографической сети города подразделялись на:

1. Главные (системообразующие): большие, средние и малые реки, крупные озера и водохранилища (размеры которых сопоставимы с размерами города в целом).

2. Второстепенные (в т.ч. малые городские водные объекты): мелиоративные каналы, ручьи, пруды, малые озера и водохранилища, заболоченные территории, очистные сооружения поверхностного стока, временные водные объекты, овражно-балочная сеть и т.п.

Типизация пространственной организации гидрографической сети выполнена по двум группам классификационных признаков:

1. Основные:

– расположение основной реки относительно территории города;

– расположение притоков основной реки относительно территории города.

2. Дополнительные – любые признаки, определяющие специфику гидрографической сети конкретного города.

Название типа гидрографической сети в большинстве случаев состоит из двух частей (подтипов): расположение основной реки + расположение притоков (при их наличии).

Согласно принятой типологии, расположение основной реки относительно территории города может быть следующим:

– диаметральное – река пересекает территорию города от границы до границы примерно по линии, делящей город на две сопоставимые по размеру части (с допущениями);

– периферийное – река пересекает территорию города от границы до границы по линии, проходящей по периферии города, отделяя небольшую часть;

– граничное – граница города проходит по реке.

В ряде случаев возможны комбинации трех указанных подтипов расположения:

– река частично протекает по границе города, частично пересекает его по линии диаметра – гранично-диаметральное (диаметрально-граничное) расположение;

– река частично протекает по периферии города, частично пересекает его по линии диаметра – периферийно-диаметральное (диаметрально-периферийное) расположение;

– река частично протекает по границе города, частично пересекает его по периферии – гранично-периферийное (периферийно-граничное) расположение.

В случае комбинированного расположения основной реки на первое место ставится то определение, к которому относится участок реки меньшей протяженности. На второе место – соответственно то, к которому относится участок реки большей протяженности.

В качестве притоков рассматривались водотоки, впадающие в основную реку. Мелиоративные каналы и небольшие ручьи без названий не учитывались. В названии подтипов гидрографической сети при характеристике расположения притоков основной реки использовалось определение «лучевой».

Расположение притоков основной реки относительно территории города может быть следующим:

– диаметрально-лучевое – приток пересекает территорию города от границы до границы примерно по линии, делящей город на две сопоставимые по размеру части (с допущениями); подобное расположение притока как правило соответствует граничному положению основной реки; соответственно, устье притока будет располагаться на границе города;

– гранично-лучевое – приток протекает по границе города; устье притока также располагается на границе города;

– радиально-лучевое – приток протекает по территории города (исток может находиться как за пределами города, так и на его территории), впадает в основную реку, имеющую диаметральное расположение (либо на диаметральном участке реки с комбинированным расположением);

– периферийно-лучевое – приток протекает по периферии города.

Как и в случае с основной рекой, для притоков может быть характерно комбинированное расположение:

– гранично-диаметрально-лучевое / диаметрально-гранично-лучевое;

– гранично-периферийно-лучевое / периферийно-гранично-лучевое;

– гранично-радиально-лучевое / радиально-гранично-лучевое.

Дополнительные классификационные признаки:

- водоемный тип (наличие крупных озер и водохранилищ, размеры которых сопоставимы с размерами города);
- амфиладный тип (наличие амфилады русловых водохранилищ или озер, соединяемых протоками или реками);
- древовидный тип (наличие сети притоков выше первого порядка);
- бифуркационный тип (разделение реки на рукава и последующее их слияние в пределах территории города);
- параллельный тип (наличие рек, не сливающихся в пределах территории города);
- устьевой тип (наличие ярко выраженных устьевых частей больших и средних рек в пределах города);
- радиально-центробежный тип (наличие истоков нескольких рек, текущих от центра к периферии и не сливающихся в пределах города).

Результаты и обсуждение. К городским водным объектам, как известно, относятся водоемы, все берега которых находятся на урбанизированной территории, а также реки или участки рек, протекающие в границах города (Волшаник, 2008). В качестве косвенного показателя обеспеченности городов Беларуси гидрографической сетью могут быть использованы данные Земельного кадастра о площади, занимаемой водными объектами в городах. В крупных и больших городах площадь земель под водными объектами варьирует от 8 до 842 га. При этом наиболее благоприятная ситуация характерна для городов Орши, Мозыря, Гомеля, Новополоцка и Бреста, где доля таких земель составляет 5,41–7,97 %. Наиболее проблемным городом является Солигорск (0,52 % земель под водными объектами). Для средних городов Беларуси в целом характерна более низкая доля площадей под водными объектами относительно общей площади городов по сравнению с крупными и большими городами. Так, максимальные значения характерны для городов Дзержинска (4,48 %), Кричева (4,20) и Полоцка (4,05 %), для таких городов как Речица, Жодино, Кобрин, Слоним, Вилейка и Горки доля составляет 2,02–3,57 %, для остальных городов – 0,2–1,70 % (таблица 1).

Таблица 1 – Тип гидрографической сети и обеспеченность поверхностными водными объектами (%) в крупных, больших и средних городах Беларуси

Город	Тип гидрографической сети		Обеспеченность, %*
	подтип по положению основной реки	подтип по положению притоков	
Крупнейший город			
Минск	Диаметральный	радиально-лучевой древовидный	2,26
Крупные города			
Брест	Граничный	диаметрально-лучевой устьевой	5,41
Витебск	Гранично-диаметральный	радиально-лучевой	3,68
Гомель	Гранично-диаметральный	гранично-лучевой	5,80
Гродно	Диаметрально-граничный	радиально-лучевой древовидный	1,44
Могилев	Диаметральный	радиально-лучевой древовидный	1,93
Большие города			
Барановичи	Периферийный		1,41
Бобруйск	Гранично-диаметральный	радиально-лучевой	3,36
Борисов	Диаметрально-граничный	гранично-лучевой	1,15
Мозырь	Периферийно-граничный		7,97
Новополоцк	Граничный	периферийно-гранично-лучевой	5,77
Орша	Диаметрально-граничный	радиально- и гранично-лучевой	7,61
Пинск	Гранично-периферийный	гранично- и периферийно-лучевой	2,22
Солигорск	Гранично-водоемный	гранично-лучевой	0,52

Город	Тип гидрографической сети		Обеспеченность, %*
	подтип по положению основной реки	подтип по положению притоков	
Средние города			
Береза	Граничный	границно-диаметрально-лучевой	1,11
Вилейка	Границно-периферийный	радиально- и границно-лучевой	2,42
Волковыск	Границно-периферийный	диаметрально-лучевой	1,16
Горки	Периферийно-граничный	диаметрально-лучевой древовидный	2,02
Дзержинск	Диаметральный		4,48
Жлобин	Периферийно-граничный	границно-лучевой	0,55
Жодино	Периферийно-диаметрально-амфиладный	радиально-лучевой	2,86
Ивацевичи	Граничный		1,64
Калинковичи	Диаметральный		0,96
Кобрин	Диаметральный	радиально- и границно-лучевой	2,87
Кричев	Граничный	диаметрально- и границно-лучевой	4,20
Лида	Границно-диаметрально-амфиладный		1,18
Лунинец	Мелиоративная сеть		1,26
Марьино Горка	Границно-периферийный		0,20
Молодечно	Граничный	диаметрально-лучевой	0,81
Новогрудок	Радиально-центробежный		0,93
Осиповичи	Периферийно-граничный параллельный		0,43
Полоцк	Границно-диаметральный	радиально-лучевой	4,05
Речица	Граничный	диаметрально-лучевой	3,57
Рогачев	Периферийно-граничный	диаметрально-границно-лучевой	1,70
Светлогорск	Граничный		1,31
Слоним	Диаметрально-бифуркационно-граничный	границно- и радиально-лучевой	2,32
Слуцк	Границно-диаметрально-бифуркационный	радиально-лучевой	1,58
Сморгонь	Диаметральный	границно-радиально-лучевой	1,32

*Для Минска, областных центров, Баранович, Пинска, Бобруйска, Новополоцка и Жодино данные приведены по состоянию на 01.01.2022.

Однако, не всегда высокий процент земель под водными объектами относительно площади города свидетельствует о положительных предпосылках для устойчивого развития геотехсистемы. Так, например, обеспеченность водными объектами в г. Дзержинске составляет 4,48 %, но р. Нетечка, протекающая через центр города, небольшая и полностью зарегулированная, что не позволяет ей в полной мере выполнять свои экологические и эстетические функции. А большая доля земель под водными объектами приходится на Дзержинское водохранилище, находящееся на окраине города.

Проведенный анализ пространственной организации гидрографической сети в крупных, больших и средних городах страны показал, что для градообразующих рек диаметральный, периферийный и граничный тип локализации в чистом виде встречаются редко (см. таблицу 1). Так, диаметральное расположение градообразующей реки характерно, например, для Кобрин (рисунок 1а), периферийное – для Барановичей (рисунок 1б), граничное – для Новополоцка (рисунок 1в).



Рисунок 1 – Типы локализации градообразующих рек в городах Беларуси

Как правило, главная водная артерия города представлена комбинированием (сочетанием) указанных типов локализаций: диаметрально-границный (Гродно, Борисов, Орша, Слоним), гранично-диаметральный (Витебск, Гомель, Бобруйск, Лида, Полоцк), периферийно-границный (Мозырь, Горки, Жлобин, Рогачев), гранично-периферийный (Пинск, Вилейка, Волковыск, Марьина Горка), периферийно-диаметральный (Жодино).

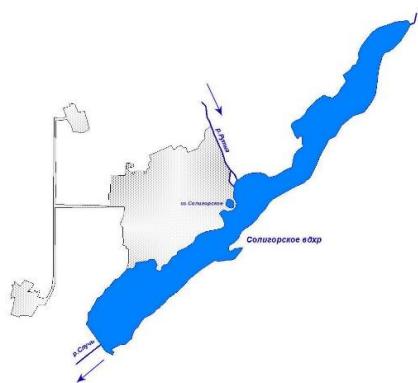
По второму типологическому признаку (расположения притоков относительно градообразующей реки) рисунок локализации соответствует главным образом различным модификациям радиального и лучевого положения. Так, например, радиально-лучевой древовидный тип расположение притоков отчетливо прослеживается в Могилеве, Минске и Гродно. В качестве примера радиально-лучевого типа локализации притоков на урбанизированной территории можно привести г. Полоцк (рисунок 2а), диаметрально-лучевого – г. Волковыск (рисунок 2б), гранично-лучевого – г. Борисов (рисунок 2в).

Кроме рассмотренных типов локализации притоков по отношению к градообразующей реке, встречаются и другие типы пространственной организации гидрографической сети (рисунок 3).

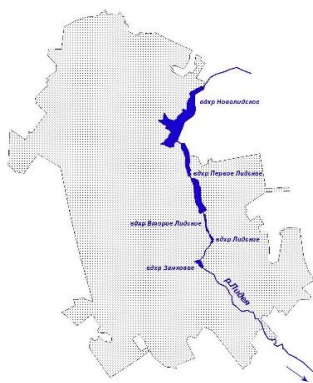


Рисунок 2 – Типы локализации притоков градообразующих рек в городах Беларуси

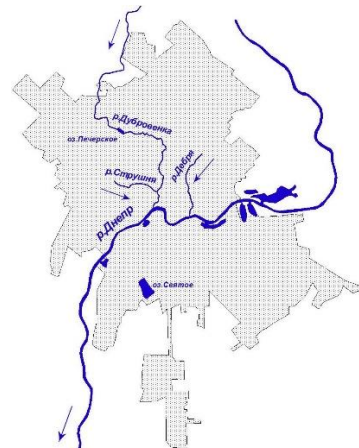
а – г. Солигорск



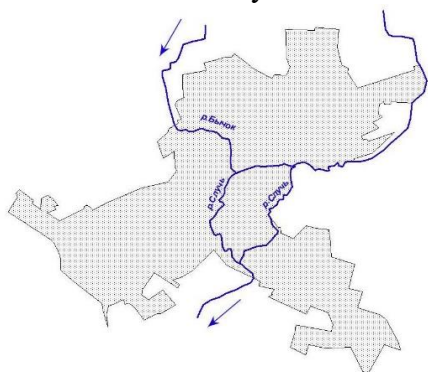
б – г. Лида



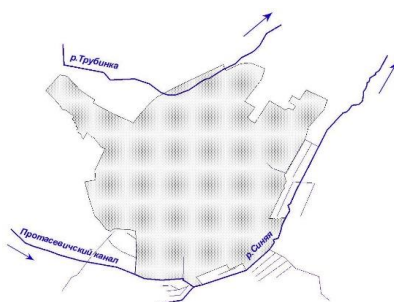
в – г. Могилев



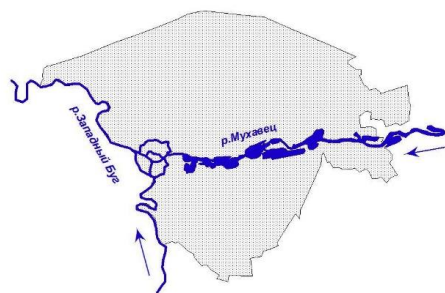
г – г. Слуцк



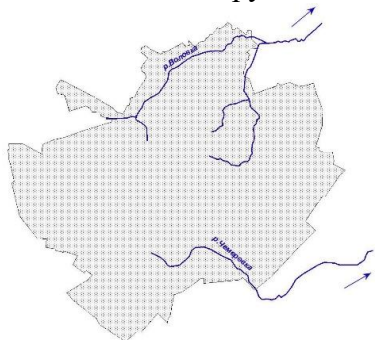
д – г. Осиповичи



е – г. Брест



ж – г. Новогрудок



- а – гранично-водоемный гранично-лучевой;
- б – гранично-диаметрально-амфиладный;
- в – диаметральный радиально-лучевой древовидный;
- г – гранично-диаметрально-бифуркационный радиально-лучевой;
- д – периферийно-граничный параллельный;
- е – граничный диаметрально-лучевой устьевой;
- ж – радиально-центробежный

Рисунок 3 – Примеры типов гидрографической сети города, обладающих дополнительными классификационными признаками

Оценка структуры и пространственной организации гидрографической сети крупных, больших и средних городов Беларуси с учетом их обеспеченности поверхностными водными объектами позволила выделить несколько групп городов по благоприятности условий устойчивого развития городских геотехсистем.

1. Наиболее благоприятные условия: тип гидрографической сети относится к гранично-диаметральному с радиально- или гранично-лучевым положением притоков и долей земель под водными объектами более 3 % (Витебск, Гомель, Бобруйск, Орша и Полоцк).

2. Благоприятные условия:

- тип гидрографической сети относится к диаметральному, гранично-диаметральному или периферийно-диаметральному с радиально- или гранично-лучевым положением притоков и долей земель под водными объектами от 1,3 до 3 % (Минск, Могилев, Гродно, Жодино, Кобрин, Слоним, Слуцк и Сморгонь);

- тип гидрографической сети относится к граничному или периферийно-граничному с диаметральным-, периферийно- или гранично-лучевым положением притоков и долей земель под водными объектами более 3 % (Брест, Мозырь, Новополоцк, Кричев и Речица).

3. Относительно благоприятные условия:

- тип гидрографической сети относится к гранично-диаметральному с гранично-лучевым положением притоков и долей земель под водными объектами от 1,0 до 1,3 % (Борисов и Лида);

- тип гидрографической сети относится к граничному или периферийно-граничному с диаметральным-, периферийно- или гранично-лучевым положением притоков и долей земель под водными объектами от 1,3 до 3 % (Пинск, Вилейка, Волковыск, Горки, Рогачев и Светлогорск).

4. Наименее благоприятные условия:

- тип гидрографической сети относится к граничному или периферийно-граничному с гранично-лучевым положением притоков или без них и долей земель под водными объектами менее 1,5 % (Барановичи, Жлобин, Марьяна Горка и Молодечно);

- сильно трансформированная гидрографическая сеть из-за мелиорации (Береза, Дзержинск, Ивацевичи, Калинковичи и Лунинец);

- тип гидрографической сети относится к редкому и доля земель под водными объектами менее 1,0 % (Солигорск, Новогрудок и Осиповичи).

Заключение. Наиболее благоприятная ситуация по косвенному показателю обеспеченности городов поверхностными водными объектами характерна для Орши, Мозыря, Гомеля, Новополоцка и Бреста, где доля земель под водными объектами составляет 5,41–7,97 %. Для средних городов Беларуси максимальные значения отмечаются в Дзержинске (4,48 %), Кричеве (4,20) и Полоцке (4,05 %), для таких городов как Речица, Жодино, Кобрин, Слоним, Вилейка и Горки обеспеченность составляет 2,02–3,57 %. Наиболее проблемными городами по данному показателю являются Солигорск, Жлобин, Калинковичи, Марьяна Горка, Молодечно, Новогрудок и Осиповичи, где доля земель под водными объектами ниже 1%.

Благоприятная ситуация для устойчивого развития городских геотехсистем складывается там, где тип гидрографической сети относится к гранично-периферийному или гранично-диаметральному с радиально-лучевым или гранично-лучевым положением притоков (Минск, Брест, Витебск, Гомель, Гродно, Могилев, Бобруйск, Мозырь, Новополоцк, Орша, Жодино, Кобрин, Кричев, Полоцк, Речица, Слоним, Слуцк и Сморгонь). В наименее благоприятном положении находятся города, где тип гидрографической сети граничный или гранично-периферийный с гранично-лучевым положением притоков или вовсе без них, с редкими типами гидрографической сети, а также с сильно трансформированной гидрографической сетью за счет мелиорации (Барановичи, Солигорск, Береза, Дзержинск,

Жлобин, Ивацевичи, Калинковичи, Лунинец, Марьина Горка, Молодечно, Новогрудок и Осиповичи).

Список цитированных источников

1. Волшаник, В. В. Классификация городских водных объектов / В. В. Волшаник, А. А. Суздалева. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 112 с.
2. Кадацкая, О. В. Гидрографическая сеть урбанизированных территорий как элемент формирования природного каркаса города / О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, Е. П. Овчарова // Современные проблемы ландшафтоведения и геоэкологии: материалы VI Междунар. науч. конф. (к 110-летию со дня рождения профессора В. А. Дементьева), Минск, 13–16 нояб. 2018 г. / редкол.: А. Н. Витченко (гл. ред.) [и др.]. – Мн. : БГУ, 2018. – С. 194–196.
3. Кадацкая, О. В. Системообразующая роль гидрографической сети в организации природного каркаса города / О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, Е. П. Овчарова // Природопользование. – 2020. – № 1. – С. 39–47.
4. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс] – URL: <http://map.nca.by/map.html> (дата доступа 18.05.2020).
5. Реестр земельных ресурсов Республики Беларусь [Электронный ресурс] – URL: https://www.gki.gov.by/ru/activity_branches-land-reestr/ (дата доступа: 06.06.2022).
6. Сычева, А. В. Ландшафтная архитектура / А. В. Сычева. – М. : Изд. дом «ОНИКС 21 век», 2004. – 110 с.

УДК 631.81:633.11

АКТУАЛЬНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ (ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ)

К. А. Перевертин¹, И. М. Баматов²

¹Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцева, Москва, Россия, perevertink@mail.ru

²Почвенный институт им. В. В. Докучаева, Москва, Россия, ibragim-1991@mail.ru

Аннотация

Несмотря на значительный прогресс в развитии систем агрохимии, применение традиционных форм и систем удобрений не позволяет использовать весь потенциал вносимых элементов питания, так как процессы неполной денитрификации, иммобилизация и выщелачивание (вымывание) основных макроэлементов (NPK), наряду с действием уреазы приводят к непроизводительным потерям питательных веществ в почве. Кроме экономических потерь имеют место негативные экологические последствия – эвтрофикация водоёмов, эмиссия парниковых газов. Перспективным, как с экономических, так и с экологических позиций направлением является применение УПД (удобрений пролонгированного действия), оптимизирующих, в том числе, агрохимические показатели почв.

Ключевые слова: удобрения пролонгированного действия, биополимер, крахмал, органический компонент, агрохимические параметры.

RELEVANCE OF THE USE OF LONG-LASTING MINERAL FERTILIZERS (ENVIRONMENTAL ASPECTS).

K. A. Perevertin, I. M. Bamatov

Abstract

Despite significant progress in the development of agrochemistry systems, the use of traditional forms and systems of fertilizers does not allow using the full potential of applied nutrients, since the processes of incomplete denitrification, immobilization and leaching (leaching) of the main macronutrients (NPK), along with the action of urease, lead to unproductive losses. nutrients in the soil. In addition to economic losses, there are negative environmental consequences - eutrophication of water bodies, emission of greenhouse gases. A promising direction, both from an economic and environmental point of view, is the use of LAF (long-acting fertilizers), which optimize, among other things, the agrochemical indicators of soils.

Keywords: long-acting fertilizers, biopolymer, starch, organic component, agrochemical parameters.

Введение. Раздел, который начинается с описания объекта исследования, затем формулируется актуальность исследования. Приводится обзор мировой литературы, подтверждающий отсутствие в литературных источниках решения данной задачи и указывающий предшественников, на исследованиях которых базируется работа. Далее формулируется цель исследования, вытекающая из результатов обзора литературы, и перечень намеченных к решению задач.

Одним из перспективных направлений адаптации земледелия на базе отечественных ресурсов является применение УПД (удобрений пролонгированного действия). Несмотря на значительный прогресс в развитии систем агрохимии, применение традиционных форм и систем удобрений не позволяет использовать весь потенциал вносимых элементов питания, так как процессы неполной денитрификации, иммобилизация и выщелачивание (вымывание) основных макроэлементов (NPK), наряду с действием уреазы приводят к непроизводительным потерям питательных веществ в почве. Кроме экономических потерь имеют место негативные экологические последствия – эвтрофикация водоёмов, эмиссия парниковых газов. Другими словами, до трети массы действующего вещества используемых форм минеральных удобрений попросту «не доходят до потребителя» – сельхозкультуры. Они же обременяют энергоёмкость мероприятий по транспортировке, хранению и внесению традиционных препаративных форм.

В отличие от дифференцированного внесения удобрений с привязкой к фенологическим фазам, в случае применения УПД можно ограничиться однократным внесением удобрений [1].

Нами предложена и активно разрабатывается методика получения УПД на основе биополимер-модифицированных форм. Особый интерес представляет программирование времени эмиссии (пролонгации) действующего вещества

удобрений – от одного до шести месяцев. Это позволяет оптимизировать агрономические решения с учётом климатических рисков [2, 3].

Соблюдение баланса между сохранением приемлемой рентабельности производств и поддержанием для этого возможностей почвенных ресурсов остается одной из наиболее остро стоящих задач в современном АПК.

Использование биополимерных материалов в сельскохозяйственном производстве, в частности для совершенствования системы удобрения культурных растений, отвечает вызовам, с которыми сталкивается современный агропромышленный комплекс Российской Федерации. К эколого-экономическим проблемам, которые будут решаться с применением биополимеров, в первую очередь следует отнести деградацию почвенного плодородия.

Материалы и методы. Исследования проводились в 2019 году в производственных условиях в Курском районе Ставропольского Края (ООО "СтавАгроКом"). С целью определения влияния модификации минеральных удобрений биополимерным веществом был заложен микроделяночный опыт на посевах озимой пшеницы. Площадь деленок составляла 0,25 м². Подкормка проводилась комплексным минеральным удобрением (NPK – 16:16:16) из расчета 200 кг/га. Биополимер наносился на удобрение методом опудривания с предварительным увлажнением гранул. Во избежание растворения удобрения между распылением влаги и нанесением биополимера выдерживалось минимальное время. Закрепление биополимера проводилось в микроволновой печи, норма расхода биополимера исходила из расчета 5 кг на 1 тонну удобрения.

Таблица 1 – Схема опыта

Контроль	Без подкормки
Вариант 1	NPK 16:16:16
Вариант 2	NPK 16:16:16 + Биополимер + вода
Вариант 3	NPK 16:16:16 + биополимер + лимонная кислота

Оценка влияния биополимерной модификации удобрений проводилась посредством подсчета количества стеблей и по изменению агрохимических почвенных параметров в динамике: ЕС; рН; N-NO₃; N-NH₄; P₂O₅; K₂O. Повторность 3-х кратная.

Агрохимический анализ почвы проводился в лаборатории ООО "Агрохимия" (КБР, г.Нарткала, ул.Степная,2). Почвенные образцы № 215-239. использованы методики:

1. ГОСТ 26205-91 Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО.
2. ГОСТ 26951-86. Определение нитратов ионометрическим методом.
3. ГОСТ 26489-85. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО.
4. ГОСТ 26487-85 - рН, электропроводность.

В таблице 2 приведены сроки отбора почвенных проб.

Таблица 2 – Временные точки отбора

Отбор 1	18 марта 2019 г.	Отбор почвы перед внесением удобрения
Отбор 2	08 апреля 2019г.	Первая временная точка
Отбор 3	09 мая 2019г.	Вторая временная точка
Отбор 4	30 мая 2019 г.	Учет количества стеблей

Результаты и обсуждение. Агрохимические показатели почвы в зависимости от вариантов опыта заметно варьировали.

Таблица 3 – Агрохимические параметры почвы

Содержание нитратов в почве, мг/кг			
Варианты	Отбор 1	Отбор 2	Отбор 3
Контроль	6,2	8,5	3,1
Вариант 1	6,2	6,8	2,6
Вариант 2	6,2	7,0	3,4
Вариант 3	6,2	5,3	3,0
Содержание обменного аммония, мг/кг			
Контроль	11,3	24,4	24,1
Вариант 1	11,3	23,6	26,6
Вариант 2	11,3	24,7	36,0
Вариант 3	11,3	28,3	47,9
Общее содержание минерального азота, мг/кг			
Контроль	17,5	32,9	27,2
Вариант 1	17,5	30,4	29,2
Вариант 2	17,5	31,7	39,4
Вариант 3	17,5	33,6	50,9

Среди элементов минерального питания растений азот занимает особое место. Он входит в состав белковых веществ, образующих основу протоплазмы клетки и входящих в состав всех ферментов. Общее содержание азота свидетельствует о потенциальном плодородии почвы, а содержание минеральных соединений о степени интенсивности биохимических процессов в ней.

Растения озимой пшеницы предъявляют высокие требования к обеспеченности почвы элементами питания на протяжении всего периода вегетации. Но учитывая, что к середине вегетации пшеницей потребляется всего 30-35 % минеральных веществ, то создание условий по обеспечению растений до конца вегетации является приоритетной задачей в области агрохимии.

Диаграмма (рисунок 1) демонстрирует, что суммарное содержание минерального азота в почве варьирует в зависимости от времени отбора. На контрольном участке и в варианте с применением NPK (вариант 1) наблюдается рост концентрации азота ко второй временной точке и последующее снижение к третьей временной точке. Снижение составляет 21 и 4,1 % соответственно.

В то же время сумма минерального азота в вариантах 2 и 3 продолжает расти на протяжении всего периода наблюдения. Рост составил 24,3 % (вариант 2) и 51,5 % (вариант 3).

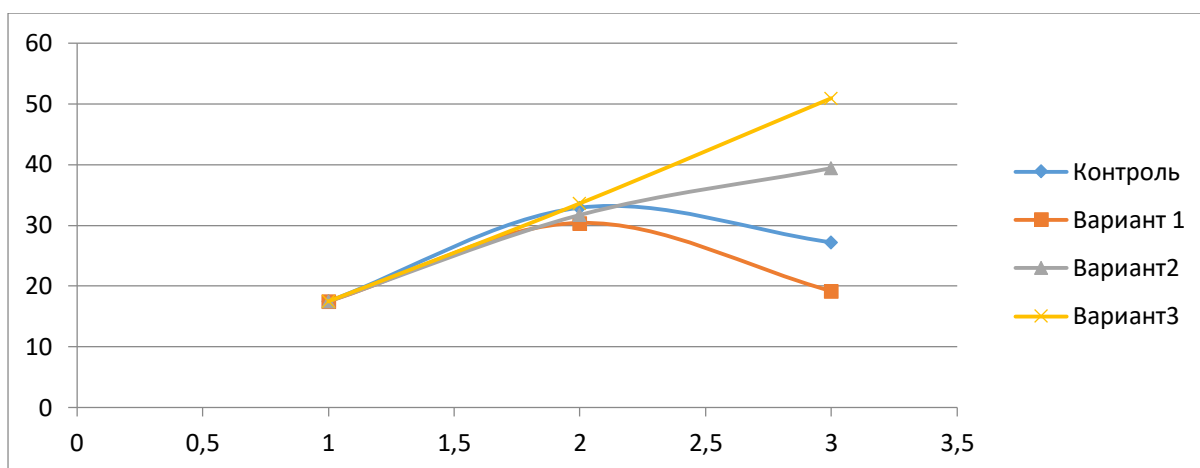


Рисунок 1 – Динамика содержания минерального азота в почве, мг/кг

Отмечая роль биополимера в качестве компонента органо-минеральной системы удобрения, следует подчеркнуть важность выбора жидкости, используемой в процессе приготовления удобрения. Так в вариантах 2 и 3 были использованы вода и раствор лимонной кислоты соответственно. Из диаграммы (рисунок 1) видно, что концентрация минерального азота в почве возросла в варианте 3 по отношению к варианту 2 (с использованием воды) на 29,2 %.

Таблица 4 – Агрохимические параметры почвы

Содержание P ₂ O ₅ в почве, мг/кг			
Варианты	Отбор 1	Отбор 2	Отбор 3
Контроль	28,7	34,0	30,5
Вариант 1	28,7	33,9	30,5
Вариант 2	28,7	42,5	36,4
Вариант 3	28,7	33,7	28,8
Содержание K ₂ O, мг/кг			
Контроль	169,5	285,2	163,4
Вариант 1	169,5	277,1	153,2
Вариант 2	169,5	325,5	170,1
Вариант 3	169,5	297,6	146,0

Потребность растений в фосфоре в количественном выражении существенно ниже, чем азота и калия. Но при этом фосфор имеет решающее значение для быстрого роста и правильного развития растений. Самыми важными функциями фосфора в растении являются хранение и перенос энергии и передача генетического материала. Особенность питания растений фосфором связана с невозможностью восполнения его дефицита в начальные периоды обильным удобрением в более поздние сроки.

Из таблицы 4 видно, что в период кущения (отбор 2) запас подвижного фосфора в почве максимален в варианте 2, где используется биополимер совместно с водой. разница в концентрации по отношению к другим вариантам составляет в среднем 25 %. Тенденция повышенного содержания фосфора в варианте 2 отмечается и в динамике (рисунок 2). В последнем отрезке времени изъятия почвенных образцов разница его концентрация сохраняется на уровне 19,3-26,4 % в зависимости от вариантов.

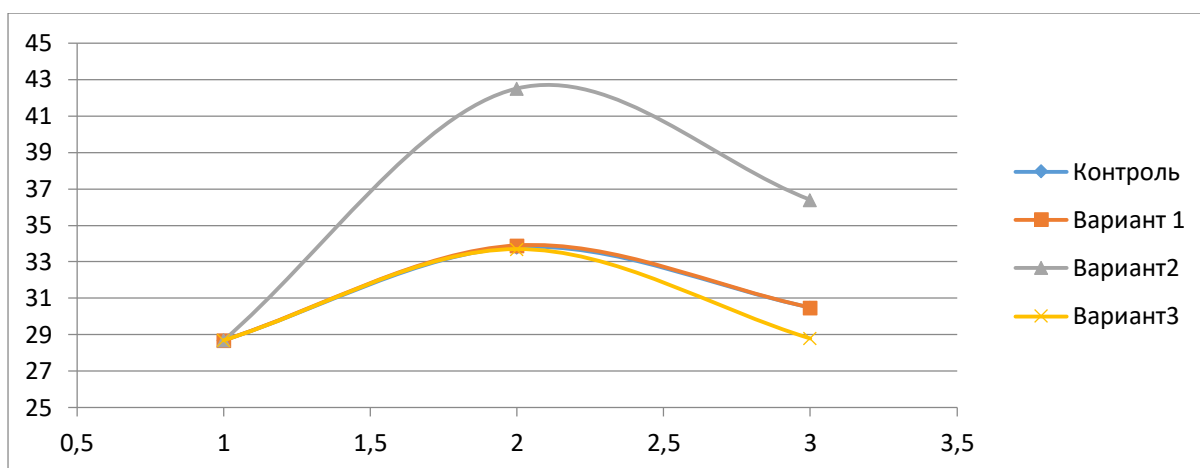


Рисунок 2 – Динамика содержания подвижного фосфора в почве

Аналогичная тенденция наблюдается в поведении калия в варианте 2.

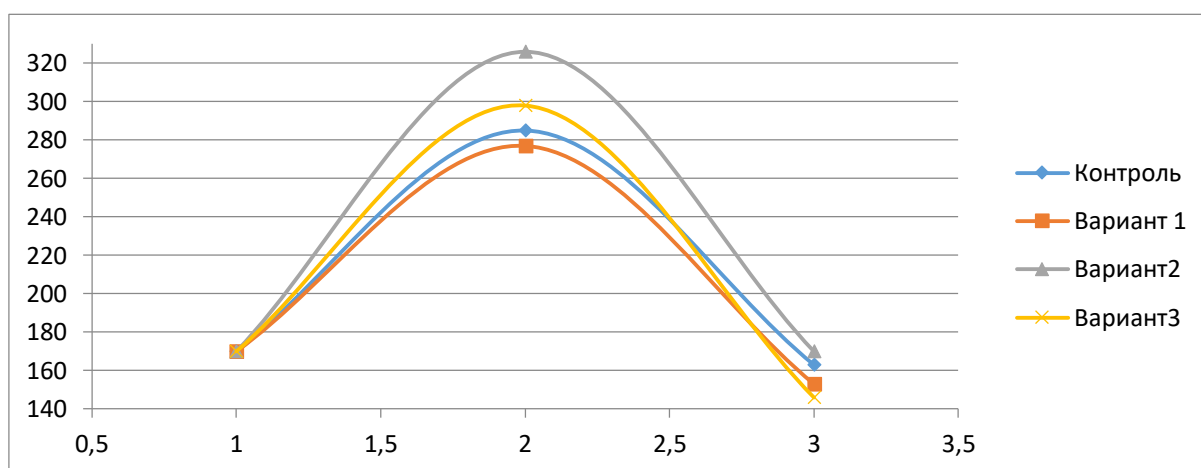


Рисунок 3 – Динамика содержания подвижного калия в почве

Учитывая, что калий участвует в процессе переноса ассимилянтов, активизации многих ферментов, регулировании водного режима растений, использование биополимеров для модификации минеральных комплексных удобрений является обоснованным приемом в растениеводстве. Содержание подвижного калия под действием биополимера в варианте 2 по отношению к контрольному варианту во втором отборе возрастает на 14,1 %, по отношению к эталону (вариант 1) – на 17,5 %.

Заключение. Включение в систему минерального питания растений биополимерных соединений, в частности крахмала, а также производство соответствующих удобрительных смесей на высоком технологическом уровне отвечает запросам современной отрасли растениеводства.

Так, включение в минеральную систему удобрения 5 % биополимера существенно повышает коэффициент реализации генетического потенциала сортов озимой пшеницы до 11-18,1 % (таблица 3), а также агрохимические параметры почвы. В частности возможное повышение концентрации минерального азота, подвижных соединений фосфора и калия, исходя из проведенного эксперимента, достигает 29,2 %, 25 и 17,5 % соответственно.

Благодарности. Работа поддержана грантом РФФ №22-16-00092.

Список цитированных источников

1. Занилов, А. Х. Инновационные приемы повышения эффективности минерального питания растений: метод. рек. / А. Х. Занилов, Е. П. Шилова // М.: ФГБНУ "Росинформагротех", 2017. – 132 с.
2. Перевертин, К. А. Учет текущих и ожидаемых погодных рисков в растениеводстве на основе математической теории игр / К. А. Перевертин, В. И. Леунов, А. И. Белолобцев, Е. А. Симаков, Н. Н. Иванцова, Т. А. Васильев // Картофель и овощи. – 2020. – № 6. – С. 6–10.
3. Эдельгериев Р.-С.Х. (ред.) Глобальный климат и почвенный покров России // Национальный доклад. – Москва, 2021. –Т. 3. – 520 с.

УДК 626.81

СТРАНЫ БРИКС НА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ КАРТЕ МИРА

Т. С. Фролова, Н. И. Коронкевич, Е. А. Барабанова, И. С. Зайцева

Институт географии РАН, Москва, Россия, bibikova@igras.ru

Аннотация

БРИКС – одно из наиболее авторитетных современных международных объединений группы стран – Бразилии, России, Индии, Китая, ЮАР. На эти страны приходится 29% суши земного шара и 42 % мирового населения. Экономический успех стран во многом определяется состоянием их водных ресурсов, водного хозяйства. В статье показано положение стран БРИКС по водообеспеченности и характеру использования водных ресурсов на основании гидрологических и водохозяйственных характеристик.

Ключевые слова: БРИКС, водные ресурсы, водообеспеченность, использование воды, эффективность водопользования.

ANTHROPOGENIC IMPACT ON RIVER FLOW AND WATER QUALITY IN THE BRICS COUNTRIES

T. S. Frolova, N. I. Koronkevich, E. A. Barabanova, I. S. Zajtseva

Abstract

BRICS is one of the most authoritative modern international associations of a group of countries - Brazil, Russia, India, China, South Africa. These countries account for 29% of the Earth's land mass and 42% of the world's population. The economic success of the countries is largely determined by the state of their water resources and water management. The article shows the position of the BRICS countries in terms of water availability and the nature of the use of water resources based on hydrological and water management characteristics.

Keywords: BRICS, water resources management, water consumption, water use effectiveness.

Введение. Водные ресурсы, основу которых составляют ресурсы речного стока, – один из главных факторов экономического и социального развития любой страны. Соответственно велика и роль водного хозяйства. Цель данной статьи – показать положение стран БРИКС в мире по водообеспеченности, размерам и характеру использования водных ресурсов на основании анализа гидрологической и водохозяйственной статистики. Этот анализ показывает, что общий вклад стран БРИКС в мировые водные ресурсы и их использование весьма велик, хотя вклад отдельных стран этого сообщества существенно отличается.

В работе проанализировано 5 стран, занимающих 29 % суши земного шара и 42 % мирового населения [10]. В числе показателей обеспеченности территории и населения водными ресурсами рассмотрены речной, подземный сток и атмосферные осадки. Помимо этого, использованы удельные показатели – количество водных ресурсов на единицу площади и населения.

Для анализа водопотребления использованы данные о водозаборах, объемах сточных вод, безвозвратном расходе воды, а также оценена кратность разбавления сточных вод речным стоком.

Проведено сравнение эффективности использования воды – сопоставление стран по количеству продукции, произведенной на единицу расходуемой воды, и по обратному соотношению – количеству воды, затраченной на производство единицы продукции.

Обеспеченность водными ресурсами стран БРИКС

Рассматриваемые государства по-разному обеспечены водными ресурсами. Средние многолетние ресурсы речного стока представлены в таблице 1 [4, 10, 13].

Средний многолетний сток стран БРИКС оценивается почти в 14,5 тыс. км³/год, что составляет более 33 % мирового стока, немногим выше доли в площади (29 %) и ниже доли населения (42 %). Отметим, что решающий вклад в величину показателей БРИКС вносит Бразилия. На Россию приходится от 21 до 28 % абсолютных значений (км³/год) элементов водного баланса пяти стран. На Китай приходится около 19 % полного речного стока, далее следуют Индия – 10 % и ЮАР – всего 0,3 %. Слой полного речного стока стран БРИКС (374 мм) в целом выше среднемирового (317 мм). Самый высокий слой стока в Бразилии – 728 мм, далее следуют Индия (443 мм), Китай (281 мм), Россия (237 мм), ЮАР (37 мм). Также выше общемирового у стран БРИКС и слой естественно-зарегулированного подземного стока – соответственно, 106 и 91 мм. Наименьшим слоем подземного стока располагают Россия (52 мм) и особенно ЮАР (11 мм), что предполагает повышенную потребность в гидротехническом регулировании водных ресурсов. Обеспеченность стран БРИКС полным речным стоком в расчете на душу населения (4,5 тыс. м³/чел.) ниже среднемировых показателей (5,6 тыс. м³/чел.). В Индии – 1,1 тыс. м³/чел., Китае – 1,9, в ЮАР – 0,8, тогда как в России – 27,8, а в Бразилии – 29,9 тыс. м³/чел.

Таблица 1 – Обеспеченность водными ресурсами

Страна	Площадь тыс. км ²	Население млн. чел.	Осадки	Полный речной сток	Подземный сток	Осадки	Полный речной сток	Подзе мный сток
			км ³			тыс. м ³ /чел.		
Бразилия	8547	208	15880	6220	1874	76,3	29,9	9,0
Индия	3288	1339	3682	1456	376	2,7	1,1	0,3
Китай	9597	1453	7488	2700	960	5,2	1,9	0,7
Россия	17098	146	9080	4053	882	62,2	27,8	6,0
ЮАР	1219	57	603	43	5	10,6	0,8	0,1
Итого страны БРИКС	39749	3203	36733	14472	4097	11,5	4,5	1,3
Мир в целом	135000	7676	116775	42780	12285	15,2	5,6	1,6

В целом, показатели, характеризующие Россию с точки зрения количества водных ресурсов на фоне других стран БРИКС и мировых достаточно высоки. Особенно велика доля России в водообеспеченности населения полным речным и подземным стоком – почти в 5 раз по сравнению со средними мировыми показателями и в 6 раз больше, чем группа стран в части речного стока, и в 3-5 раз в части подземного стока, что частично является следствием относительно невысокой заселенности территории.

Мы не располагаем самыми последними точными сведениями по полезной ёмкости водохранилищ, но если судить по данным на начало XXI в. [4], они составляли в Бразилии – 272, Индии и Китае – по 223, России – 416, ЮАР – 9.1, стран БРИКС в целом – 1143 км³, то есть почти 30% мирового полезного объёма (3940 км³). Сопоставление полезного объёма с величиной подземного стока свидетельствует о том, что ресурсы наиболее устойчивой составляющей местного стока существенно возросли – в Бразилии на 13 %, Китае на 25 %, России на 46 %, а в Индии и ЮАР более чем на 70%, в среднем для БРИКС на 27 %, а в мире в целом на 30 %. Для самого последнего времени эти величины требуют уточнения.

Водопотребление в странах БРИКС. Во всем мире на различные хозяйственные нужды примерно 4000 км³ воды в год, из которых почти 36% в странах БРИКС (таблица 2). Данные по водопотреблению стран БРИКС почерпнуты из профильных Интернет-ресурсов, а также из ряда опубликованных статей и изданий [10, 14-17]. Использование воды внутри группы распределяется следующим образом. Примерно половина объёма воды (47 %) приходится на Индию, 43 % – на Китай, менее 10 % на остальные страны БРИКС, причем на Россию и Бразилию – по 4,5 %, на ЮАР около 1 %.

Таблица 2 – Основные показатели водопотребления

Страна	Водозабор, км ³	Безвозвратный расход, км ³	Остаточный сток, км ³	Процент водозабора от речного стока	Процент безвозвратного расхода от речного стока	Объем сточных вод, км ³	Кратность разбавления сточных вод речным стоком
Бразилия	63,0	28,9	6191,1	1,0	0,5	34,2	181,2
Индия	647,5	421,5	1034,5	44,5	40,7	226,0	4,6
Китай	591,7	521,7	2178,3	21,9	23,9	70,0	31,1
Россия	63,0	20,4	4032,6	1,6	0,5	42,6	94,7
ЮАР	19,4	6,6	36,4	45,1	18,1	12,8	2,8
Итого страны БРИКС	1384,6	999,0	13473,0	9,6	7,4	385,6	34,9
Мир в целом	3881,0	1616,8	41163,2	9,1	3,9	2264,2	18,2

В странах БРИКС на водопотребление используется немногим более ресурсов речного стока (9,6 %), чем в мире (9,1 %). При этом в Индии и ЮАР используется около 45 % ресурсов речного стока, в Китае почти 22%, в России и Бразилии – порядка 1-1,5 %. Во всех пяти странах основным источником водозабора являются поверхностные воды (рисунок 1). Самый большой процент использования подземной воды наблюдается в Индии (почти 39 %).

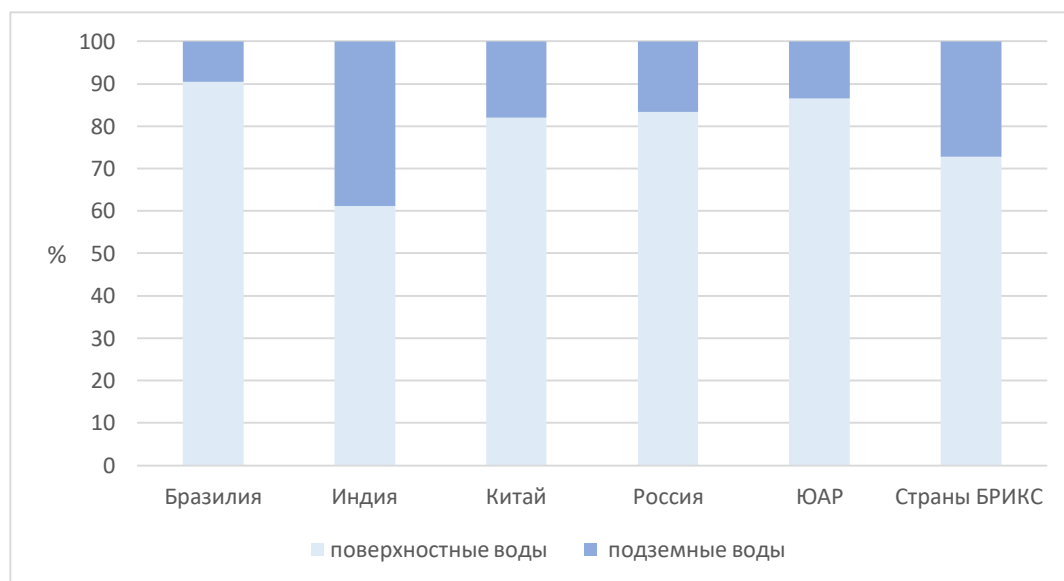


Рисунок 1 – Источники водозабора в странах БРИКС

Основной водопотребитель в России – промышленность, на долю которой приходится почти 45 % используемой воды, в других странах – сельское хозяйство, главным образом, орошаемое земледелие, причем, в Бразилии, Китае, ЮАР на долю сельского хозяйства приходится 55-65 % используемой воды, а в Индии – 90 % (рисунок 2). Таким образом, основная масса воды пяти стран используется в сельском хозяйстве (более 75 %, это выше, чем общемировой показатель в 70 %).

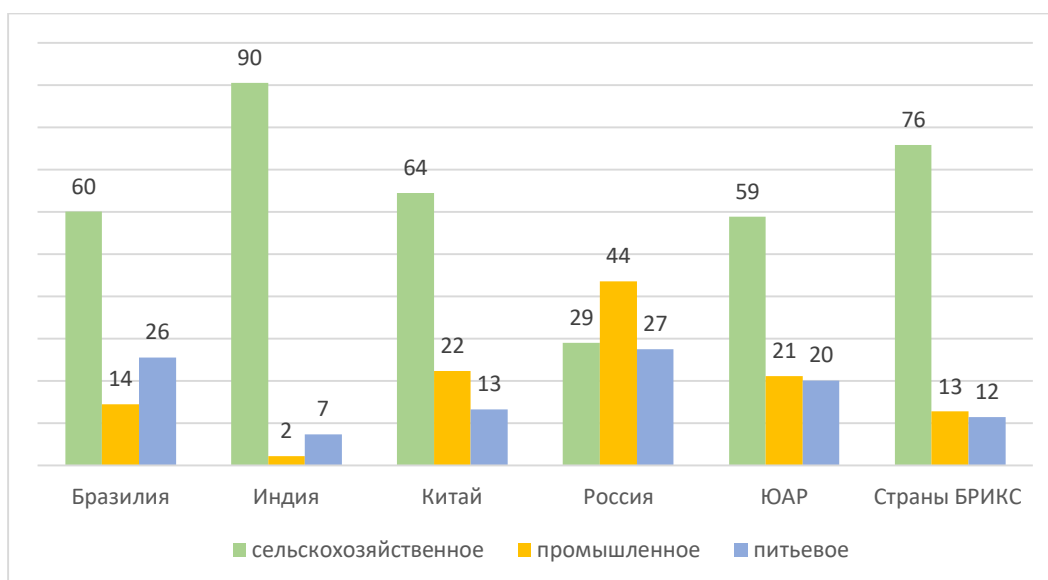


Рисунок 2 – Структура использования воды в странах БРИКС, %

Общий безвозвратный расход воды в странах БРИКС составляет почти 1000 км³ (около 62 % от мирового). В данном случае безвозвратный расход воды определен по разнице водозабора и количества сточных вод. Наибольших значений он достигает в Китае и Индии и обусловлен наличием огромных площадей орошаемого земледелия. В результате общий речной сток стран БРИКС уменьшился почти на 7,5 % (в мире почти на 4 %), в Индии – на 41 %, в Китае – на 24 %, в ЮАР – на 18 %, а в России и Бразилии – примерно на 0,5 %. Безвозвратные расходы воды могут зависеть от природных условий, состояния оросительных систем и систем водоснабжения и водоотведения, технологии полива и состава культур посевных площадей, степени внедрения систем оборотного водоснабжения и структуры промышленных производств.

Объем сточных и коллекторно-дренажных вод в БРИКС близок к 400 км³ (17 % мирового объема). Почти 90 % из них приходятся на возвратные воды с орошаемых земель. В разных странах существенно различается и уровень очистки сточных вод. Учет различий для разных стран в данном случае не представляется возможным из-за отсутствия соответствующей информации. В качестве показателя оценки воздействия на качество вод предложен показатель кратности разбавления сточных вод остаточным после безвозвратных изъятий стоком. Чем он ниже, тем больше вероятность загрязнения водных объектов. Кратность разбавления возвращающихся после использования вод БРИКС остаточным речным стоком – почти 35 раз (эта цифра для мира составляет немногим более 18 раз). В ЮАР – почти 3 раза, в Индии – более 4 раз, Китай – 31 раз, тогда как в России – 95 раз, а в Бразилии – более 180 раз.

Представленные соотношения относятся к государствам в целом. Внутри каждого из них имеются районы как хорошо, так и слабо обеспеченные водными ресурсами. Неравномерно распределение ресурсов стока и во времени.

Экономическая эффективность водопотребления. Если судить об эффективности использования воды, которая часто определяется соотношением затрат воды в м³ к ВВП (по ППС), то в БРИКС соответствующий показатель

(72,5) выше, чем в мире в целом (57,8), т.е. вода используется менее эффективно. Особенно это относится к Индии (почти 250), что обусловлено ведущей ролью в водном хозяйстве орошаемого земледелия. В ЮАР и Китае этот показатель значительно ниже – (порядка 56 и 47 соответственно). Еще ниже он в России (40,7) и Бразилии (31,8).

В таблице 3 видно, что для производства 1 млрд. \$ ВВП Индия как в 1992, так и в 2017 г. расходовала наибольшее количество воды среди стран БРИКС, и также получала наименьшую отдачу в ВВП на единицу расходуемой воды. Следует отметить, что к 2017 г. эффективность водопотребления возросла по сравнению с 1992 г., особенно в Китае (почти в 18 раз), в Индии и России (в 7 и 5 раз соответственно). Среди причин главными можно обозначить развитие не использующих воду отраслей экономики Китая и Индии, а также перестройка экономики России в пользу менее водоемких отраслей. Данный показатель требует более глубокого анализа в части изменения ВВП за период.

Таблица 3 – Эффективность водопотребления [10]

Страна	ВВП млрд. \$		Водозабор, км ³		Затраты воды на 1 млрд \$ ВВП, млн. м ³ /млрд\$ ВВП		Экономическая отдача, млрд\$ ВВП/км ³	
	1992	2017	1992	2017	1992	2017	1992	2017
Бразилия	362,6	2062,8	46,1	65,7	127,0	31,8	7,9	31,4
Индия	293,7	2625,1	522,1	647,5	1777,7	246,7	0,6	4,1
Китай	602,3	12535,8	516,9	591,7	858,2	47,2	1,2	21,2
Россия	493,0	1581,4	99,6	64,4	202,0	40,7	5,0	24,6
ЮАР	136,0	349,0	13,2	19,4	96,7	55,5	10,3	18,0
Страны БРИКС в целом	1887,6	19154,1	1197,8	1388,7	634,6	72,5	1,6	13,8
Мир	-	67125,8	2958,3	3881,0	-	57,8	-	17,3

Если оценивать количество воды, используемой в расчете на одного жителя, то этот показатель сравним с общемировым (432,3 м³ и 505,6 м³ соответственно). Самый низкий он в Бразилии (303 м³) и ЮАР (340,4 м³). Самый высокий в Индии – 483,6 м³.

Изложенное выше относится к странам в целом. Внутри каждой из них водохозяйственная ситуация очень различается. В каждой из них водообеспеченность хозяйства и населения наиболее высока в относительно малоосвоенных районах, а основные водные проблемы связаны с наиболее густонаселенными районами, где эта водообеспеченность значительно ниже. Достаточно сравнить горные и равнинные районы Китая и Индии, европейскую и азиатскую части России. На европейскую часть России, занимающую 23 % общей площади РФ и располагающую таким же процентом ресурсов речного стока, приходится 77 % водозабора и объема сточных вод. Кратность разбавления сточных вод в азиатской части страны на порядок выше, чем в европейской, составляя соответственно более 300 и около 30 раз.

Заключение. В заключение следует отметить, что обеспеченность водными ресурсами территории стран БРИКС в целом несколько выше среднемировой, а населения – ниже. Доля используемой воды примерно соответствует доле

располагаемых мировых водных ресурсов. Вместе с тем, выделяются две группы стран. Одна – Индия, Китай, ЮАР с гораздо более напряженным водохозяйственным балансом, и вторая – в составе Бразилии и России, в которой сосредоточена значительная часть сравнительно слабо затронутых деятельностью человека мировых водных ресурсов, хотя и в их пределах имеются районы, требующие решения острых водохозяйственных и гидроэкологических проблем.

Список цитированных источников

1. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. – Москва : Наука, 2003. – 367 с.
2. Бибикина, Т. С. Динамика водопотребления в России, Украине и Белоруссии в постсоветский период // Вопросы географии. Сб. 133: Географо-гидрологические исследования. – М. : Издательский дом «Кодекс», 2012. – С. 274–288.
3. Бибикина, Т. С. Изменения водохозяйственных характеристик России, Белоруссии и Украины в постсоветский период // Изв. РАН. Сер. геогр. – 2007. – № 5. – С. 98–106.
4. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И. А. Шикломанова. – СПб. : ГГИ, 2008.
5. Глазовский, Н. Ф. Глобальные закономерности распределения ресурсоемкости экономики // Изв. РАН. Сер. Геогр. – 1992. – № 3. – С. 12–22.
6. Глазовский, Н. Ф. Эффективность использования природных ресурсов и возможные пороги развития // Проблемы природопользования и экономическая ситуация в Европейской России и сопредельных государствах. – Белгород : 2004. – С. 9–15.
7. Данилов-Данильян, В. И. Потребление воды: экологические, экономические, социальные и политические аспекты / В. И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев // М. : Наука, 2006. – 221 с.
8. Демин, А. П. Современная водоемкость экономик стран мира // Изв. РАН, сер. географ. – 2012. – № 5.
9. Демин, А. П. Экономические проблемы водопользования // Экономические и территориальные аспекты управления водохозяйственным комплексом России. – М. : РАСХН, 2013. – С. 240–273.
10. Интернет ресурсы: gks.ru, www.oecd-ilibrary.org, <https://stats.oecd.org/>, <https://www.unep.org>, <https://www.unwater.org>, <http://www.fao.org>, <https://www.chinawaterrisk.org>, <https://www.worldbank.org>, <https://www.indiaspend.com>.
11. Коронкевич, Н. И. Водообеспеченность и антропогенная нагрузка на водные ресурсы России в сравнении с другими странами / Н. И. Коронкевич, Е. А. Барабанова, Т. С. Бибикина, И. С. Зайцева // Вестник РФФИ. – 2013. – № 78. – Т. 2.
12. Коронкевич, Н. И. Россия на водохозяйственной карте мира / Н. И. Коронкевич, Е. А. Барабанова, Т. С. Бибикина, И. С. Зайцева // Изв. РАН, сер. Географ. – 2014. – № 1.
13. Львович, М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. – М. : Мысль, 1974. – 448 с.

14. Ao XuYin-Hu WuZhuo ChenGuangxue WuQianyuan WuFangqiong LingWei E. HuangHong-Ying Hu. Towards the new era of wastewater treatment of China: Development history, current status, and future directions. *Water Cycle* 1 (2020) 80–87.
15. Jones, E. R., van Vliet, M. T. H., Qadir, M., and Bierkens, M. F. P.: Country-level and gridded estimates of wastewater production, collection, treatment and reuse, *Earth Syst. Sci. Data*, 13, 237–254, <https://doi.org/10.5194/essd-13-237-2021>, 2021.
16. WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). 2017. The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: The Untapped Resource. Paris, UNESCO.
17. Katharina M. K. Stepping. Urban sewage in Brazil: drivers of and obstacles to wastewater treatment and reuse. *Governing the Water-Energy-Food Nexus Series*. Bonn, 2016.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1

ПРИРОДНЫЕ РЕСУРСЫ: РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

АЛИЕВА М.А., ЯРОТОВ А.Е., ШЛЕНДЕР Т.В.

Микроклиматическое моделирование термических индексов в пределах микрорайонов города Минска..... 4

АНЖЕНКОВ А.С., ЛИХАЦЕВИЧ А.П., ЛАТУШКИНА Г.В.

Определение оптимальных поливных норм при орошении сельскохозяйственных растений..... 9

БАСОВ С.В., ТУР Э.А., БОСАК В.Н., АНТОНЮК Е.К.

Проблемы сохранения видового разнообразия древесно-кустарниковой растительности исторических парков Брестской области..... 15

БОСАК В.Н.

Эффективность снижения минерализации органического вещества торфяной почвы методом покровного грунта..... 23

БУЛЬСКАЯ И.В., КОВАЛЕНКО В.В., ПЛИНДА А.А., ХОМЮК Я.В.

Протекторное действие 24-эпикастастерона и его конъюгатов с кислотами на газонные злаки в условиях воздействия ионов свинца..... 30

ВОЛЧЕК А.А.

Проблемы водных ресурсов Беларуси..... 37

ВОЛЧЕК А.А., БЕЗРУЧКО А.В.

Состояние подземных вод вблизи полигонов твердых коммунальных отходов..... 52

ВОЛЧЕК А.А., ГРЕЧАНИК А.В.

Изменения скоростного режима территории восточно-белорусской физико-географической провинции..... 63

ВОЛЧЕК А.А., КОСТЮЧЕНКО Н.Н., ДАШКЕВИЧ М.М.

Распределение экотоксикантов на склоновых агроландшафтах..... 70

ВОЛЧЕК А.А., САВИЧ-ШЕМЕТ О.Г., ШЕШКО Н.Н., ПАРФОМУК С.И., ШПЕНДИК Н.Н., ДАШКЕВИЧ Д.Н., СИДАК С.В., КУХАРЕВИЧ М.Ф.

Реки национального парка «Беловежская пуца» и их гидрологические характеристики..... 79

ГЛЕДКО Ю.А., МЕДВЕДЬКО М.В.

Особенности количественных и пространственно-временных изменений опасных гидрометеорологических явлений (оя) на территории Беларуси за период 2008-2020 гг..... 88

ДАНИЛОВИЧ И.С., КВАЧ Е.Г.	
Современные изменения и прогнозные оценки гидроклиматических характеристик на территории Беларуси.....	95
ЕЛОВИЧЕВА Я.К.	
Палинологически изученные разрезы среднего плейстоцена Беларуси статуса геологических памятников природы.....	102
ЕЛОВИЧЕВА Я.К., ПИСАРЧУК Н.М.	
Палинологически изученные разрезы голоцена и верхнего плейстоцена Беларуси статуса геологических памятников природы.....	113
ИВАНОВ Д.Л., ПАРАХНЕВИЧ Р.В.	
Влияние опасных гидрометеорологических явлений на дорожно-транспортную ситуацию на дорогах Минской области.....	125
КИРВЕЛЬ П.И., ПАРФОМУК С.И.	
Тенденции изменений ледовых явлений на озере Червоное (Белорусское Полесье).....	136
КИТАЕВ Л.М., АБЛЕЕВА В.А.	
Особенности локальной изменчивости уровней грунтовых вод в холодный период года на примере Приокско-террасного заповедника.....	146
КОКОШ Ю.Г., КРУКОВСКАЯ О.Ю.	
Уровни и тренды содержания формальдегида и диоксида азота в атмосферном воздухе в Беларуси по данным дистанционного зондирования.....	156
КОЛБАС А.П., БУЛЬСКАЯ И.В., ЯКОВУК И.Н., НЕСТЕРУК В.С., ФРАНЧУК О.Н., ДАШКЕВИЧ М.М.	
Биотестирование смесей золы с почвенными добавками на модельных культурах в лабораторных условиях.....	164
КРИЦКАЯ В.В., БУСЬКО Е.Г., АКШЕВСКАЯ Е.В.	
Миграция бузины черной (<i>Sambucus nigra</i> L.) в условиях глобального потепления на территории Республики Беларусь.....	170
КУЗОВКОВА М.В., БАРАНОВ Ю.М.	
Сохранение и экологическая реабилитация индустриальных ландшафтов с гидросистемой на примере объекта культурного наследия «Комплекс Нижнетагильского металлургического завода» (1720-2022 гг.).....	176
МАКАРОВ В.Н.	
Эколого-геохимические условия Депутатского оловорудного месторождения (С-В Якутия).....	181
МИКАЕЛЯН А.Р., МАРТИРОСЯН Г.С., ТОКМАДЖЯН О.В., МИКАЕЛЯН Н.А.	
Эффективность нового, экологически безопасного микроудобрения «Комплекс-Ко» для возделывания зерновых культур.....	188

МЯЛИК А.Н., ПАРФЕНОВ В.И.

Флористические особенности бассейнов средних рек Белорусского
Полесья с разным уровнем антропогенизации ландшафтов..... 194

ОВЧАРОВА Е.П., САНЕЦ Е.В., КАДАЦКАЯ О.В.

Пространственная организация гидрографической сети городов Беларуси
как основа для устойчивого развития городских геотехсистем..... 202

ПЕРЕВЕРТИН К.А., БАМАТОВ И.М.

Актуальность использования минеральных удобрений
продолжительного действия (экологические аспекты)..... 210

ФРОЛОВА Т.С., КОРОНКЕВИЧ Н.И., БАРАБАНОВА Е.А.,

ЗАЙЦЕВА И.С.

Страны БРИКС на водохозяйственной карте мира..... 216

Научное издание

ICER – 2022

**АКТУАЛЬНЫЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ СРЕДЫ ОБИТАНИЯ**

Сборник трудов
V Международной научно-практической конференции,
посвященной
50-летию кафедры природообустройства

26–28 октября 2022 года

ЧАСТЬ I

Ответственный за выпуск: Волчек А. А.
Редактор: Митлошук М. А.
Компьютерная верстка: Морозова В. А.
Корректор: Жигалова М. П.

Издательство БрГТУ.
Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 1/235 от 24.03.2014 г., № 3/1569 от 16.10.2017 г.
Подписано в печать 18.10.2022 г. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Бумага «Performer». Гарнитура «Times New Roman».
Усл. печ. л. 13,19. Уч. изд. л. 14,19.
Заказ № 1196. Тираж 100 экз.
Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

ISBN 978-985-493-565-2



