

ISSN 2079-3928

# Природо- пользование



2  
2020

Государственное научное учреждение  
«Институт природопользования  
Национальной академии наук Беларусь»

# Природопользование

2020. № 2

Основан в 1996 г. как сборник научных трудов.  
В 2018 г. преобразован в журнал.  
Выходит 2 раза в год

## Главный редактор

Лысенко С. А. – доктор физико-математических наук, профессор

## Редакционная коллегия

Хомич В. С. – доктор географических наук (заместитель главного редактора)  
Томсон А. Э. – кандидат химических наук (заместитель главного редактора)  
Высоценко А. В. – кандидат технических наук (ответственный секретарь)  
Айзберг Р. Е. – член-корреспондент, доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Бровка Г. П. – доктор технических наук  
Грибик Я. Г. – кандидат геолого-минералогических наук  
Жогло В. Г. – доктор геолого-минералогических наук  
Какарека С. В. – доктор технических наук, профессор  
Камышенко Г. А. – кандидат технических наук  
Курзо Б. В. – доктор технических наук  
Кухарчик Т. И. – доктор географических наук  
Лиштван И. И. – академик, доктор технических наук, профессор  
Логинов В. Ф. – академик, доктор географических наук, профессор  
Матвеев А. В. – академик, доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Струк М. И. – кандидат географических наук

## Международный редакционный совет

Балтрунас В. – доктор наук (геология), профессор (Литва)  
Гнеушев В. А. – кандидат технических наук (Украина)  
Гожик П. Ф. – академик НАН Украины, доктор геолого-минералогических наук,  
профессор (Украина)  
Зилитинкевич С. С. – доктор физико-математических наук, профессор (Финляндия)  
Зюзин Б. Ф. – доктор технических наук, профессор (Россия)  
Клавинс М. – доктор наук (химия), профессор (Латвия)  
Маркс Л. – доктор наук (геология), профессор (Польша)  
Руденко Л. Г. – академик НАН Украины, доктор географических наук, профессор (Украина)  
Снытко В. А. – член-корреспондент РАН, доктор географических наук, профессор (Россия)  
Тишков А. А. – член-корреспондент РАН, доктор географических наук, профессор (Россия)  
Черепанский М. М. – доктор геолого-минералогических наук, профессор (Россия)

## Адрес

Ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск.  
Тел. +375 17 215-26-32, факс +375 17 215-24-13.  
[info@nature-nas.by](mailto:info@nature-nas.by)  
<http://nature-nas.by/journal>

State Scientific Institution  
“Institute of Nature Management  
of the National Academy of Sciences of Belarus”

# Nature Management

---

2020. № 2

---

Was founded in 1996 as a proceeding.  
In 2018 was transformed into a journal.  
Periodicity is 2 issues per year

**Editor-in-Chief**

**Sergey Lysenko** – D. Sc. (Physical and Mathematical), Professor

**Editorial Board**

**Valery Khomich** – D. Sc. (Geography) (*Associate Editor-in-Chief*)  
**Aleksey Tomson** – Ph. D. (Chemistry) (*Associate Editor-in-Chief*)  
**Anna Vysochenko** – Ph. D. (Technical) (*Executive Secretary*)  
**Roman Aizberg** – Corresponding Member, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor  
**Gennadiy Brovka** – D. Sc. (Technical)  
**Yaroslav Gribik** – Ph. D. (Geology and Mineralogy)  
**Sergey Kakareka** – D. Sc. (Technical), Professor  
**Halina Kamyshenka** – Ph. D. (Technical)  
**Boris Kurzo** – D. Sc. (Technical)  
**Tamara Kukharchyk** – D. Sc. (Geography)  
**Ivan Lishtvan** – Academician, D. Sc. (Technical), Professor  
**Vladimir Loginov** – Academician, D. Sc. (Geography), Professor  
**Aleksey Matveev** – Academician, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor  
**Mikhail Struk** – Ph. D. (Geography)  
**Vasiliy Zhoglo** – D. Sc. (Geology and Mineralogy)

**International Editorial Council**

**Valentinas Baltrunas** – D. Sc. (Geology), Professor (Lithuania)  
**Mikhail Cherepanskii** – D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor (Russia)  
**Vladimir Gneushev** – Ph. D. (Technical) (Ukraine)  
**Piotr Gozyk** – Academician, D. Sc. (Geology and Mineralogy) (Ukraine)  
**Leszek Marks** – Dr. Habil. (Geology), Professor (Poland)  
**Maris Klavins** – Dr. Habil. (Chemistry), Professor (Latvia)  
**Leonid Rudenko** – Academician, D. Sc. (Geography) (Ukraine)  
**Valerian Snytko** – Corresponding Member, D. Sc. (Geography), Professor (Russia)  
**Arcadiy Tishkov** – Corresponding Member, D. Sc. (Geography) (Russia)  
**Sergei Zilitenkevich** – D. Sc. (Physical and Mathematical), Professor (Finland)  
**Boris Zuzin** – D. Sc. (Technical), Professor (Russia)

**Address**

10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Republic of Belarus.  
Phone: +375 17 215-26-32, fax: +375 17 215-24-13.  
[info@nature-nas.by](mailto:info@nature-nas.by).  
<http://nature-nas.by/journal>

## СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

### ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

<b>Бровка Ю. А., Буяков И. В.</b> <i>Brovka Yu. A., Buyakov I. V.</i>	Изменение гидротермического коэффициента и повторяемости экстремальных условий увлажнения на территории Беларуси в период потепления климата <i>Changes in the hydrothermal coefficient and in the frequency of extreme humidification conditions on the territory of Belarus during climate warming</i>	5
<b>Анцух Ю. П., Савич-Шемет О. Г., Гапанович Е. В.</b> <i>Antsukh Y. P., Savich-Shemet O. G., Gapanovich E. V.</i>	Концептуальный подход к отведению поверхностных сточных вод в районах современной жилой застройки <i>Conceptual approach to surface waste water drainage in regions of modern residential buildings</i>	19
<b>Ратникова О. Н., Лисицына И. П., Агейчик И. В.</b> <i>Ratnikova O. N., Lisitsyna I. P., Ageichik I. V.</i>	Обоснование ведения мониторинга уровня грунтовых вод на восстанавливаемых торфяниках Припятского Полесья <i>Rationale for monitoring groundwater levels in the rehabilitated peatlands of Pripyat Polesie</i>	33
<b>Шершнёв О. В., Павловский А. И., Акулевич А. Ф.</b> <i>Shershnyov O. V., Pavlovskii A. I., Akulevich A. F.</i>	Количественная оценка защищенности подземных вод в зоне влияния Гомельского химического завода <i>Quantitative assessment of groundwater protection in the zone of influenced of the Gomel Chemical Plant)</i>	44
<b>Ван Хао, Лопух П. С.</b> <i>Wan Khao, Lopuch P. S.</i>	Особенности формирования водных ресурсов и проблемы водообеспечения различных отраслей хозяйства провинции Гуйчжоу <i>Features of the formation of water resources and problems of water supply of various sectors of the economy Guizhou province</i>	53
<b>Рылова Т. Б., Матвеев А. В., Шидловская А. В.</b> <i>Rylova T. B., Matveyev A. V., Shidlovskaya A. V.</i>	Ландшафты восточной части Белорусского Полесья в климатическом оптимуме муравинского межледникового <i>Landscapes of the Belarusian Polesie eastern area during the climatic optimum of the Muravian interglacial</i>	64

### ГЕОТЕХНОЛОГИИ. ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ GEOTECHNOLOGY. EXTRACTION, PROCESSING AND THE USE OF SOLID FUEL MINERALS

<b>Лиштван И. И., Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Сорокин А. И.</b> <i>Lishtvan I. I., Kurzo B. V., Gaidukevich O. M., Sorokin A. I.</i>	Перспективы использования местных минерально-сырьевых ресурсов для развития юго-западного региона Гомельской области <i>Prospects for local mineral and raw materials use for the development of the southwestern region of Gomel region</i>	77
<b>Курзо Б. В., Гайдукевич О. М.</b> <i>Kurzo B. V., Gaidukevich O. M.</i>	Метод прогнозной оценки наличия сапропеля под торфяными залежами Беларусь <i>Method of forecast assessment of sapropel availability at peat deposits of Belarus</i>	88
<b>Кунцевич В. Б., Макаренко Т. И.</b> <i>Kuntsevich V. B., Makarenko T. I.</i>	Оценка продолжительности цикла добычи кускового торфа расчетным методом и на основе полученных производственных данных <i>Evaluation of the determination of the extraction of lump peat by the calculation method and on the basis of data production</i>	96
<b>Журавский Г. И., Нитиевский М. И.</b> <i>Zhuravsky G. I., Nitievski M. I.</i>	Углерод и топливо из резинотехнических отходов <i>Carbon and fuel from rubber waste</i>	103
<b>Журавский Г. И., Криворот В. А.</b> <i>Zhuravsky G. I., Nitievski M. I.</i>	Термолиз нефтяных отходов <i>Thermolysis of oil waste</i>	109

Рупасова Ж. А., Яковлев А. П., Белый П. Н., Жданец С. Ф., Козырь О. С., Домаш В. И., Азизбекян С. Г., Лиштван И. И. <i>Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Bely P. N., Zhdanets S. F., Kozyr O. S., Domash V. I., Azizbekyan S. G., Lishtvan I. I.</i>	Влияние минеральных и органических удобрений на физико-химические и агрохимические свойства выработанного торфяника низинного типа под посадками виргинильных растений голубики высокорослой <i>Influence of mineral and organic fertilizers on the chemical and agrochemical properties of the developed lowland peat deposit under the plantation of virginial plants of highbush blueberry</i>	115
Томсон А. Э., Соколова Т. В., Сосновская Н. Е., Навоша Ю. Ю., Царюк Т. Я., Пехтерева В. С., Фалиушина И. П., Царенок А. А. <i>Tomson A. E., Sokolova T. V., Sosnovskaya N. E., Navosha Yu. Yu., Tsariuk T. Ya., Pekhtereva V. S., Faliushina I. P., Tsarenok A. A.</i>	Энтеросорбционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа <i>Enterosorption ferrocin-containing feed additive based on peat</i>	125

## НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ SCIENTIFIC REPORT

Гюрджинян Сурен, Тер-Торосян Артак, Савич-Шемет О. Г., Анцух Ю. П. <i>Gyurjinyan Suren, Ter-Torosyan Artak, Savich-Shemet O. G., Antsukh Y. P.</i>	Особенности проведения оценки воздействия на окружающую среду согласно требованиям Европейского банка реконструкции и развития <i>Features of environmental impact assessment according to the European Bank's for Reconstruction and Development requirements</i>	132
--	---	-----

## ЮБИЛЕИ JUBILEE

К 70-летию со дня рождения В. Г. Жогло <i>To the 70<sup>th</sup> anniversary of V. G. Zoglo</i>	136
--	-----

## ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2020-2-5-18>

УДК 551.583(476)

Поступила в редакцию 15.10.2020  
Received 15.10.2020

### ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКОГО КОЭФФИЦИЕНТА И ПОВТОРЯЕМОСТИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ УВЛАЖНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В ПЕРИОД ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Ю. А. Бровка, И. В. Буяков

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

**Аннотация.** В условиях наблюдающегося с 1989 г. потепления климата в Беларуси актуальным является изучение тепло- и влагообеспеченности территории, а также изменения частоты возникновения экстремальных условий увлажнения. На основании построенных методом интерполяции карт выявлены особенности пространственного изменения осредненного гидротермического коэффициента (ГТК) за период потепления климата (1989–2019 гг.) и предшествующий ему более прохладный период (1960–1988 гг.) в месяцы вегетационного периода. Установлено уменьшение засушливости условий в мае и сентябре на юго-востоке и востоке страны, увеличение засушливости – в июне и августе (особенно в южных регионах), увеличение площади с избыточным увлажнением в июле и ее уменьшение в сентябре.

В статье показаны особенности изменения повторяемости засух (ГТК ≤ 0,7), менее засушливых условий (ГТК = 0,71–1,0) и избыточного увлажнения (ГТК < 1,6) с мая по сентябрь в 1989–2019 гг., по сравнению с периодом 1960–1988 гг. Установлено, что в период потепления климата с мая по сентябрь отмечается значительное увеличение повторяемости засух на метеостанциях в различных регионах Беларуси. Уменьшение числа лет с засухой в мае и июне наблюдается на отдельных восточных и южных метеостанциях, в августе – на метеостанции Житковичи, в сентябре – на метеостанции Костюковичи. Повторяемость менее засушливых условий в мае, июле и сентябре на многих метеостанциях уменьшается, ее изменения отличаются территориальной неоднородностью. В июне и августе на большей части территории Беларуси наблюдается увеличение числа лет с засушливыми условиями. Значительное увеличение повторяемости избыточного увлажнения отмечено в июле на большей части территории Беларуси, в мае – в отдельных регионах. Уменьшение повторяемости избыточного увлажнения наблюдается на многих метеостанциях в июне и августе, только в северном регионе количество лет с переувлажнением увеличивается. В сентябре отмечаются пространственная неоднородность и менее выраженные изменения повторяемости избыточного увлажнения.

**Ключевые слова:** гидротермический коэффициент; засуха; засушливые условия; избыточное увлажнение; повторяемость.

**Для цитирования.** Бровка Ю. А., Буяков И. В. Изменение гидротермического коэффициента и повторяемости экстремальных условий увлажнения на территории Беларуси в период потепления климата // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 5–18.

### CHANGES IN THE HYDROTHERMAL COEFFICIENT AND IN THE FREQUENCY OF EXTREME HUMIDIFICATION CONDITIONS ON THE TERRITORY OF BELARUS DURING CLIMATE WARMING

Yu. A. Brovka, I. V. Buyakov

Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**Abstract.** It is important to study the heat and moisture supply of the territory under climate warming conditions in Belarus since 1989, as well as changes in the occurrence frequency of extreme moisture conditions. The features of the spatial change in the averaged hydrothermal coefficient (HTC) for the period of climate warming (1989–2019) and the colder period preceding it (1960–1988) in the months of the growing season were revealed based on the maps con-

structed by interpolation. A decrease in the aridity of conditions in May and September in the southeast and east of the country, an increase in aridity in June and August (especially in the southern regions), an increase in the area with excessive moisture in July and its decrease in September were defined.

The article shows the features of changes in the frequency of droughts ( $HTC \leq 0,7$ ), less arid conditions ( $HTC = 0,71-1,0$ ) and excessive moisture ( $HTC > 1,6$ ) from May to September in 1989–2019, according to compared with the period 1960–1988. It was found that during the period of climate warming from May to September, there is a significant increase in the droughts frequency at meteorological stations in various regions of Belarus. A decrease in the number of years with drought in May and June is observed at several eastern and southern meteorological stations, in August – at the Zhitkovichi meteorological station, in September – at the Kostyukovichi meteorological station. The frequency of arid conditions in May, July and September decreases at many meteorological stations, and its changes are characterized by territorial heterogeneity. An increase in the number of years with less arid conditions is observed in most of Belarus in June and August. A significant increase in the frequency of excessive moisture was noted in July in most of the territory of Belarus, in May – in some regions. A decrease in the frequency of excessive moisture is observed at many meteorological stations in June and August; the number of years with excessive moisture increases only in the northern region. Spatial heterogeneity and less pronounced changes in the frequency of excessive moisture are noted in September.

**Keywords:** hydrothermal coefficient; drought; arid conditions; excessive moisture; frequency.

**For citation.** Brovka Yu. A., Buyakov I. V. Changes in the hydrothermal coefficient and in the frequency of extreme humidification conditions on the territory of Belarus during climate warming. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 5–18.

**Введение.** В последние несколько десятилетий для территории Беларуси, как и в целом для Земного шара, отмечается тенденция к потеплению климата [1, 2]. Значительный рост (скачок) летней и зимней температуры воздуха в Северном полушарии отмечался в период с 1968 по 1998 г., тогда как в последующие годы (1998–2014 гг.) постоянный рост температуры сохранялся только в летнее время, зимой отмечалось некоторое снижение температуры. На территории Беларуси потепление климата установлено с 1988–1989 гг. как потепление зимнего типа, с конца 1990-х гг. отмечался рост летних температур. Установлено внутригодовое изменение количества осадков в Беларуси: их увеличение преимущественно в зимне-весенний период. Летом отмечается рост месячных сумм осадков в июле и уменьшение в июне и августе. Согласно работе [3] и обзорам опасных гидрометеорологических явлений на территории Республики Беларусь Республиканского гидрометцентра, в период потепления климата увеличивается не только повторяемость засух, но и их продолжительность и площадь распространения. Такие экстремальные климатические явления, возникающие на фоне долговременных (трендовых) изменений климата, наносят значительный ущерб сельскохозяйственному производству в силу сложности их прогнозирования.

До настоящего времени остается дискуссионным вопрос выбора критерия засух, засушливых периодов. Существует большое число индексов засушливости [4]. Для территории бывшего СССР чаще используются индексы засухи Г. Т. Селянина (ГТК), Д. А. Педя, Н. А. Багрова, Н. В. Бова, М. И. Будыко, Д. И. Шашко, Е. В. Рочевой и др. В работах [5–7] показана эффективность использования для оценки засушливости условий на европейской территории России зарубежных индексов и их сравнение с ГТК: индекса Палмера, стандартизованного индекса осадков (Standardized Precipitation Index, SPI) и стандартизированного индекса «осадки–испарение» (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index, SPEI).

При оценке засушливости условий на территории Беларуси наиболее широкое практическое применение получил гидротермический коэффициент Селянина (ГТК), который является предметом нашего исследования. Он служит одним из используемых критериев атмосферной засухи, а также избыточного увлажнения.

Цель работы – выявить изменения пространственного распределения гидротермического коэффициента на территории Беларуси в период современного потепления климата, а также дать сравнительную оценку повторяемости экстремальных климатических условий (атмосферных засух, менее засушливых условий, избыточного увлажнения) с мая по сентябрь в 1960–1988 и 1989–2019 гг.

**Материалы и методика исследований.** В качестве исходных данных для расчета гидротермического коэффициента нами были использованы данные наблюдений за среднемесячной температурой воздуха и количеством осадков на 48 метеостанциях Беларуси и 20 метеостанциях за ее пределами с 1960 по 2019 г. Использование данных на приграничных территориях значительно повышает точность результатов интерполяции ГТК на территории Беларуси.

ГТК – комплексный показатель увлажнения, который представляет отношение суммы осадков ( $P$ ) за определенный период к уменьшенной в 10 раз сумме температур ( $\sum T$ ) выше  $10^{\circ}\text{C}$  за тот же период:

$$\text{ГТК} = \frac{P}{\sum T_{>10^{\circ}\text{C}} 0,1}.$$

В работе при пространственно-временном анализе ГТК использована градация, приведенная в работах [8, 9], и следующие характеристики условий увлажнения территории: более 1,6 – влажные условия; 1,31–1,6 – оптимальные; 1,01–1,3 – слабозасушливые; 0,71–1,0 – засушливые; 0,40–0,7 – очень засушливые; 0,21–0,39 – сухие; 0,2 и менее – очень сухие условия.

Для лесной зоны атмосферной засухой считаются условия увлажнения с ГТК  $\leq 0,7$ , т. е. согласно работам [8, 9] это очень засушливые, сухие и очень сухие условия увлажнения. Существуют и другие классификации интенсивности засух, основанные на значениях ГТК [6, 7, 10, 11]. Е. К. Зойдзе рассматривает четыре категории интенсивности атмосферных засух: очень сильная ( $\text{ГТК} \leq 0,19$ ), сильная ( $\text{ГТК} = 0,20\text{--}0,39$ ), средняя ( $\text{ГТК} = 0,40\text{--}0,60$ ) и слабая ( $\text{ГТК} = 0,61\text{--}0,75$ ) [10]. Эта классификация интенсивности засух наиболее близка к используемой градации ГТК [8]. В Центре мониторинга засух Всероссийского научно-исследовательского института сельскохозяйственной метеорологии [11] при комплексной оценке засух используются такие категории засух по интенсивности: сильная ( $\text{ГТК} \leq 0,39$ ), средняя ( $\text{ГТК} = 0,40\text{--}0,70$ ).

В нашей работе использованы категории интенсивности атмосферных засух, отвечающие градациям ГТК, принятым в работе [8]: очень сильная (экстремальная) ( $\text{ГТК} \leq 0,2$ ), сильная ( $\text{ГТК} = 0,20\text{--}0,39$ ), средняя ( $\text{ГТК} = 0,40\text{--}0,70$ ) засуха.

Рассмотрена повторяемость засух разной интенсивности ( $\text{ГТК} \leq 0,7$ ), менее засушливых условий ( $\text{ГТК} = 0,71\text{--}1,0$ ) и избыточного увлажнения ( $\text{ГТК} > 1,6$ ) с мая по сентябрь за два периода: 1960–1988 и 1989–2019 гг. На основании выполненных расчетов построены картодиаграммы, отражающие изменение повторяемости экстремальных условий увлажнения в период потепления климата.

Для анализа пространственных особенностей изменения средних значений температуры и осадков в период потепления климата с 1989 по 2019 г., по сравнению с периодом 1960–1988 гг., использован разработанный в Институте природопользования НАН Беларуси сеточный архив метеорологических данных Республики Беларусь с 1945 по 2019 г. [12]. Архив создан на основе пространственной интерполяции месячных данных метеорологических наблюдений на территории Беларуси и приграничных территориях соседних государств методом кригинга [12]. Для работы с архивом метеорологических данных в среде MALTAB разработана компьютерная программа, позволившая построить карты пространственного распределения аномалий средних значений температуры и осадков в мае–сентябре в период потепления климата и оценить статистическую значимость изменений метеопараметров по  $t$ -критерию Стьюдента с доверительной вероятностью 0,95.

Для анализа изменений пространственного распределения ГТК на территории Беларуси в период потепления климата с помощью созданной в среде MALTAB компьютерной программы выполнена интерполяция рассчитанных значений ГТК на метеостанциях Беларуси и приграничных метеостанциях с использованием метода кригинга. Получены карты пространственного изменения осредненных значений ГТК в различные месяцы за два периода: 1960–1988 и 1989–2019 гг.

### Результаты исследований.

**Пространственно-временные изменения ГТК на территории Беларуси.** Пространственное распределение ГТК в период современного потепления климата (1989–2019 гг.) и в предыдущий период (1960–1988 гг.) представлено на рис. 1.

В мае в период потепления на большей части территории отмечается увеличение ГТК, особенно в восточном и юго-восточном регионах, где слабозасушливые условия сменяются оптимальными. Уменьшается ГТК до оптимальных значений на северо-западе и до более низких (слабозасушливые условия) – на крайнем западе и юго-западе Беларуси. Таким образом, в мае почти на всей территории отмечаются оптимальные условия увлажнения ( $\text{ГТК} = 1,31\text{--}1,6$ ), переувлажнение в районе Новогрудской возвышенности, связанное с влиянием орографии на количество выпадающих осадков, и слабозасушливые условия в самых юго-западных районах.

В период потепления климата ГТК в июне значительно уменьшается по всей территории Беларуси, избыточное увлажнение сохраняется только на западе Витебской области. Слабозасушливые условия ( $\text{ГТК} = 1,1\text{--}1,3$ ) формируются на небольших площадях на северо-западе и юго-востоке страны. Преобладают оптимальные условия увлажнения.

В июле увеличивается ГТК на большей части территории, за исключением северо-востока страны и локальных участков со слабозасушливыми условиями на юго-востоке и востоке. Избыточное увлажнение отмечается на значительной площади в северной, западной и южной частях Беларуси.

В августе в период с 1989 по 2019 г. наблюдается уменьшение ГТК на большей части территории (южнее  $54^{\circ}$  с. ш.): формируются слабозасушливые, а на юго-востоке (в районе Гомеля) засушливые ( $\text{ГТК} = 0,9\text{--}1,0$ ) условия. В предшествующий период такие значения ГТК (1,1–1,3) отмечались на небольшой площади на юге и юго-востоке страны, на остальной территории – оптимальное увлажнение.

В период потепления климата в сентябре преимущественно для северной части и отдельных западных и восточных районов страны сохраняется избыточное увлажнение, однако площадь его распространения и значения ГТК уменьшаются. Увеличение увлажнения до оптимальных значений характерно для крайнего юго-запада и юго-восточной части Гомельской области; в период с 1960 по 1988 г. на этой территории отмечались слабозасушливые условия.

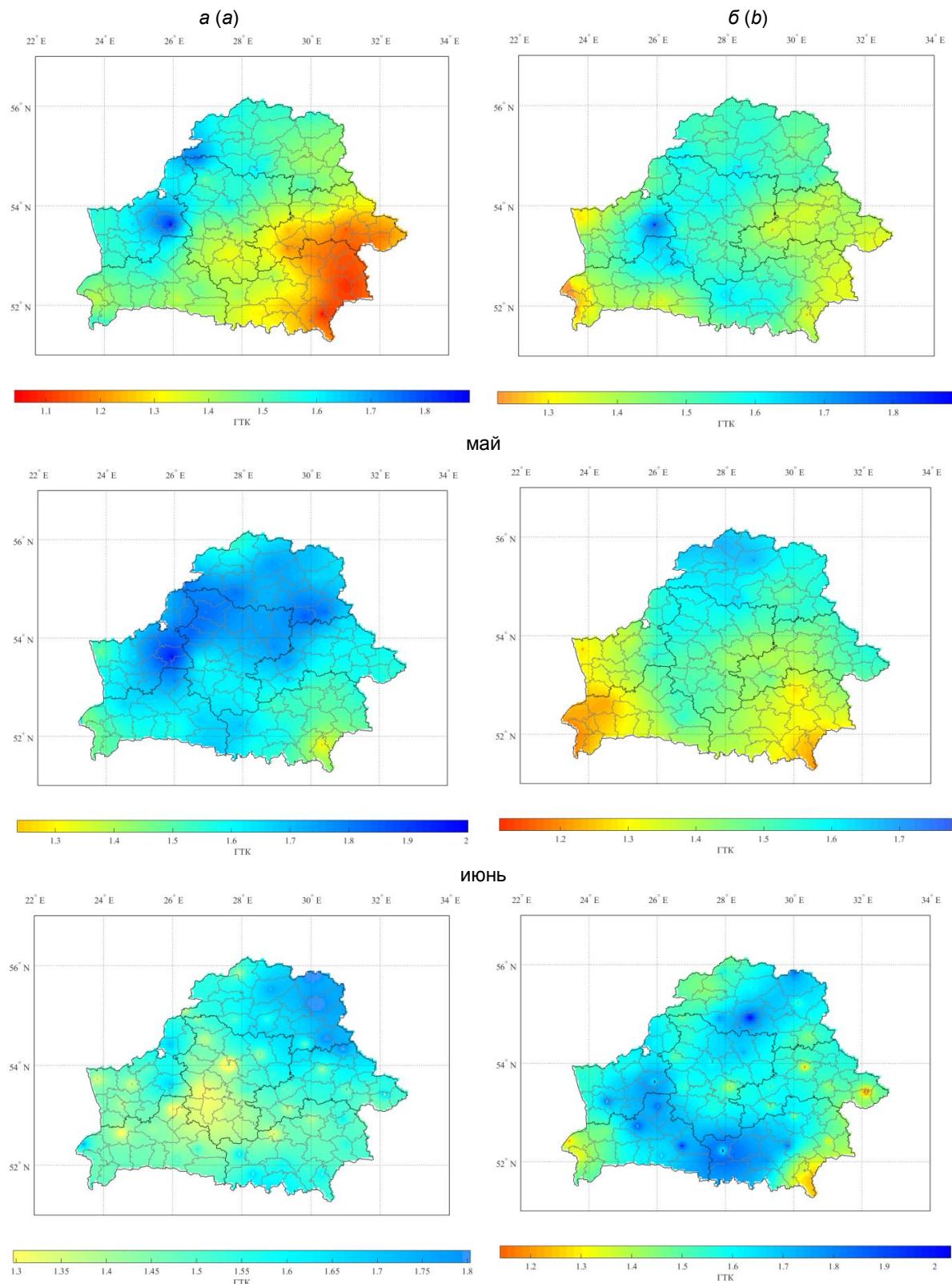
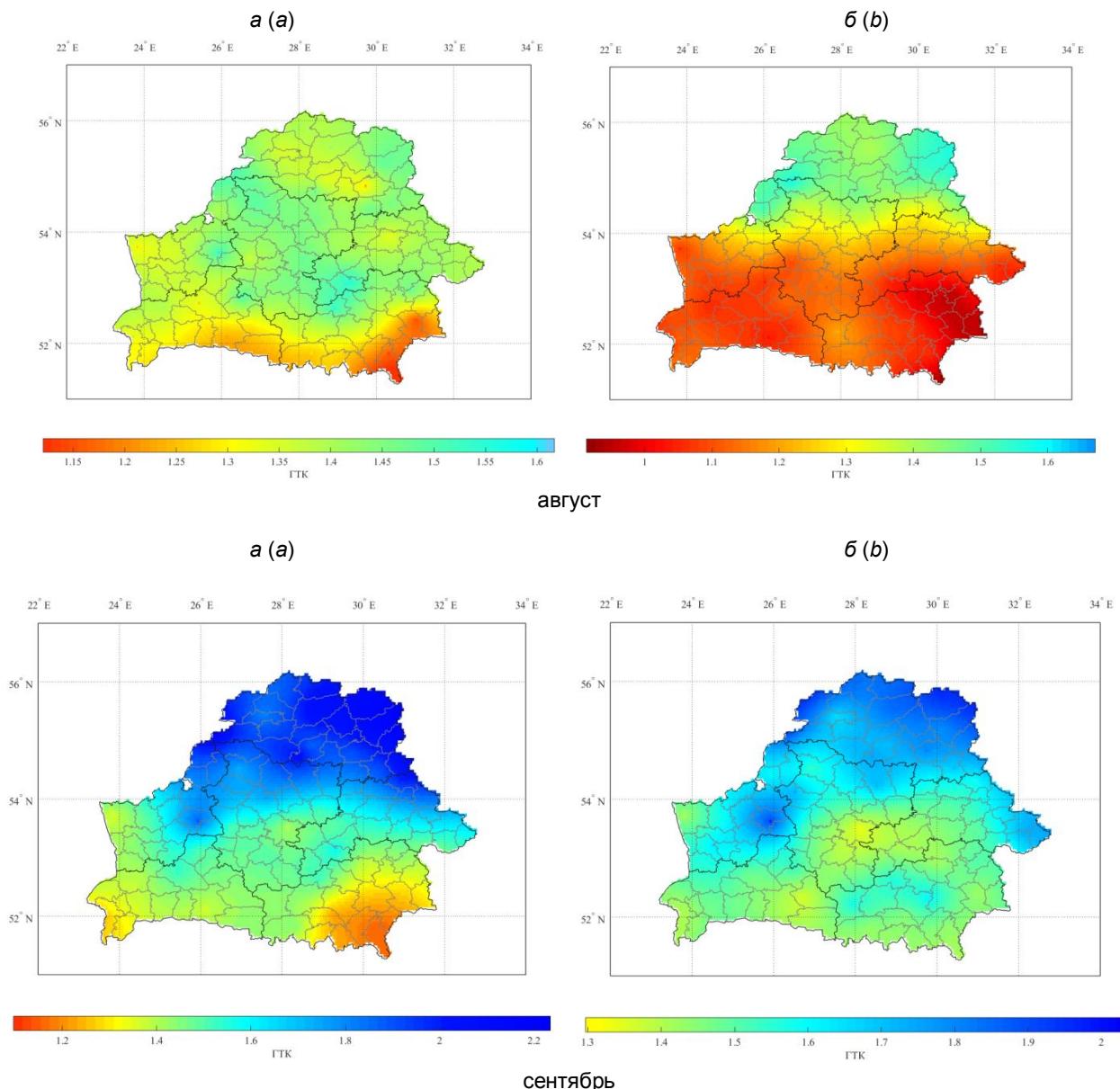


Рис. 1. Пространственное изменение гидротермического коэффициента на территории Беларуси в 1960–1988 гг. (а) и 1989–2019 гг. (б)

Fig. 1. Spatial change of the hydrothermal coefficient on the territory of Belarus in 1960–1988 (a) and 1989–2019 (b)

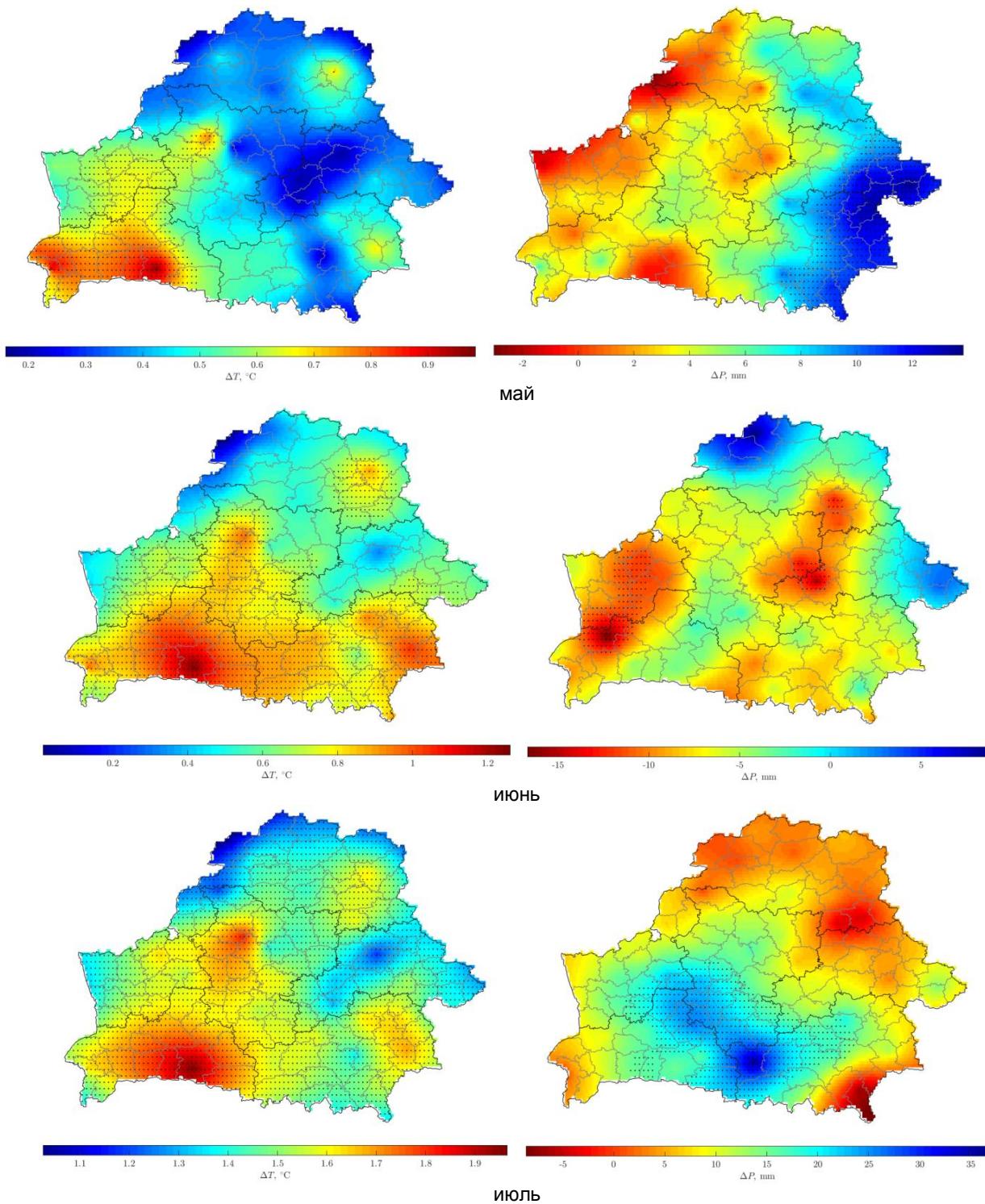


Окончание рис. 1

Ending of fig. 1

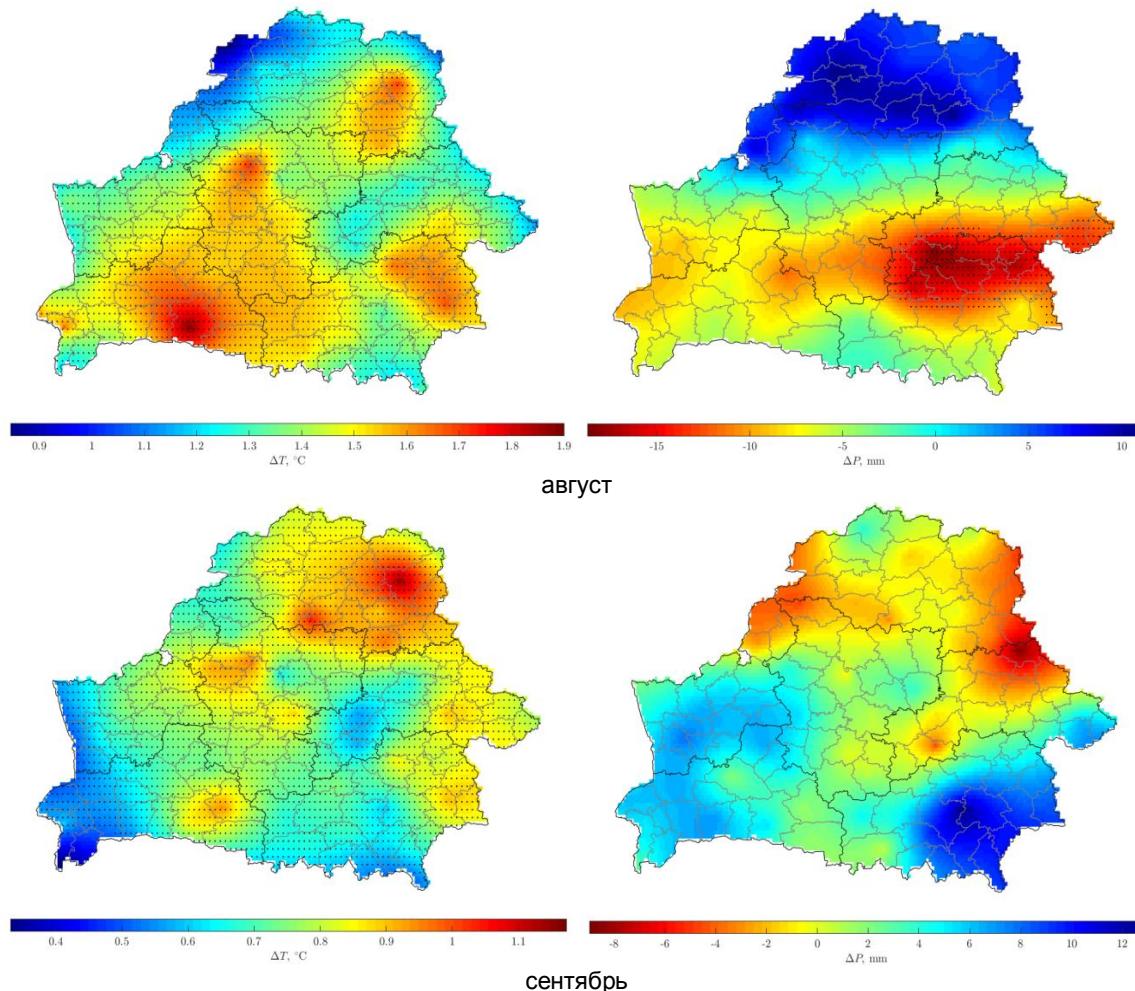
**Оценка пространственных изменений температуры воздуха и количества осадков с мая по сентябрь в 1989–2019 гг.** Для определения причин изменения ГТК в период потепления климата оценена разница средних значений температуры и осадков за период с 1989 по 2019 г. и предшествующий ему период (1960–1988 гг.) и представлена в виде карт аномалий температуры и осадков как двух составляющих гидротермического коэффициента (рис. 2).

В период потепления климата установлено некоторое увеличение среднего количества осадков в мае на востоке и юго-востоке страны (на 10–13 мм) и их значимое снижение в июне (на 10–15 мм) в западной части и в отдельных районах в северной и центральной частях Беларуси. В июле количество осадков увеличивается на значительной территории на юге страны и в центральном регионе (от 15 до 35 мм). В августе отмечается рост количества осадков на севере Беларуси и их уменьшение на большей части территории, статистически значимое в северной части Гомельской области, в южных и восточных районах Могилевской области (на 15 мм). В сентябре наблюдаются статистически незначимые изменения среднего количества осадков, противоположные по знаку в северной и южной частях Беларуси.



**Рис. 2. Разность (аномалия) средних значений температуры и осадков в период потепления климата с 1989 по 2019 г., по сравнению с периодом 1960–1988 гг.**  
Точками показаны статистически значимые различия, уровень значимости 0,05

**Fig. 2. Difference (anomaly) in average values of temperature and precipitation during the period of climate warming in 1989–2019, compared to the period 1960–1988.**  
The dots show statistically significant differences, the significance level is 0,05



Окончание рис. 2

Ending of fig. 2

Средняя температура воздуха в период 1989–2019 гг. статистически значимо (5%-ный уровень ошибки по критерию Стьюдента) растет в зависимости от месяца в различных регионах Беларуси: в мае – в Брестской области ( $0,7\text{--}1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), в Гродненской и на западе Минской области (около  $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); в июне – на большей части территории, кроме западной половины Витебской области и восточного региона, на  $0,6\text{--}0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в Брестской области до  $1,0\text{--}1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В июле и августе на всей территории Беларуси отмечается значимый рост температуры воздуха на величину от  $1,0\text{--}1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  на крайнем севере, северо-западе страны и в восточном регионе до  $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  на юге Брестской области. Статистически значимое увеличение температуры воздуха в сентябре отмечается во всех регионах, а наибольшие значения (на  $0,9\text{--}1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) – в северной части Беларуси.

Таким образом, повышение ГТК в мае на востоке и юго-востоке страны связано с увеличением количества осадков в этих районах при почти неизменной температуре, а снижение ГТК в юго-западном регионе – с ростом температуры воздуха в этот месяц. Более засушливые условия в июне на территории страны, особенно на юго-западе и юго-востоке Беларуси определяются как уменьшением количества осадков, так и увеличением температуры воздуха. В июле происходит увеличение на западе и юго-востоке увлажнения за счет роста количества осадков на фоне роста температуры, а также сокращение площади с избыточным увлажнением на севере за счет увеличения температуры при почти неизменном количестве осадков. В августе определяющим фактором увеличения площади с засушливыми явлениями стал рост температуры в южном и центральном регионах страны, а на востоке также значительное снижение суммарных осадков. Для северной части Беларуси, несмотря на увеличение температурного фона и, как следствие, роста испарения, отмечается некоторый рост количества конвективных осадков; при этом условия увлажнения почти не изменяются. В сентябре условия увлажнения юго-восточного региона улучшились за счет небольшого увеличения количества осадков и менее выраженного роста температуры, тогда как для севера Беларуси отмечается

наибольшее увеличение температуры в сентябре, за счет этого избыточное увлажнение хотя и сохраняется, но его величина становится меньше.

**Изменение повторяемости атмосферных засух ( $\Gamma\text{TK} \leq 0,7$ ) и менее засушливых условий ( $\Gamma\text{TK} = 0,71\text{--}1,0$ ).** Выявлены следующие особенности изменения повторяемости засух ( $\Gamma\text{TK} \leq 0,7$ ) за период потепления климата, по сравнению с предыдущим периодом 1960–1988 гг. (рис. 3).

В мае преимущественно на метеостанциях в юго-западной, северо-западной частях страны значительно увеличивается повторяемость засух, снижение их повторяемости отмечено на востоке Беларуси и крайнем юго-востоке.

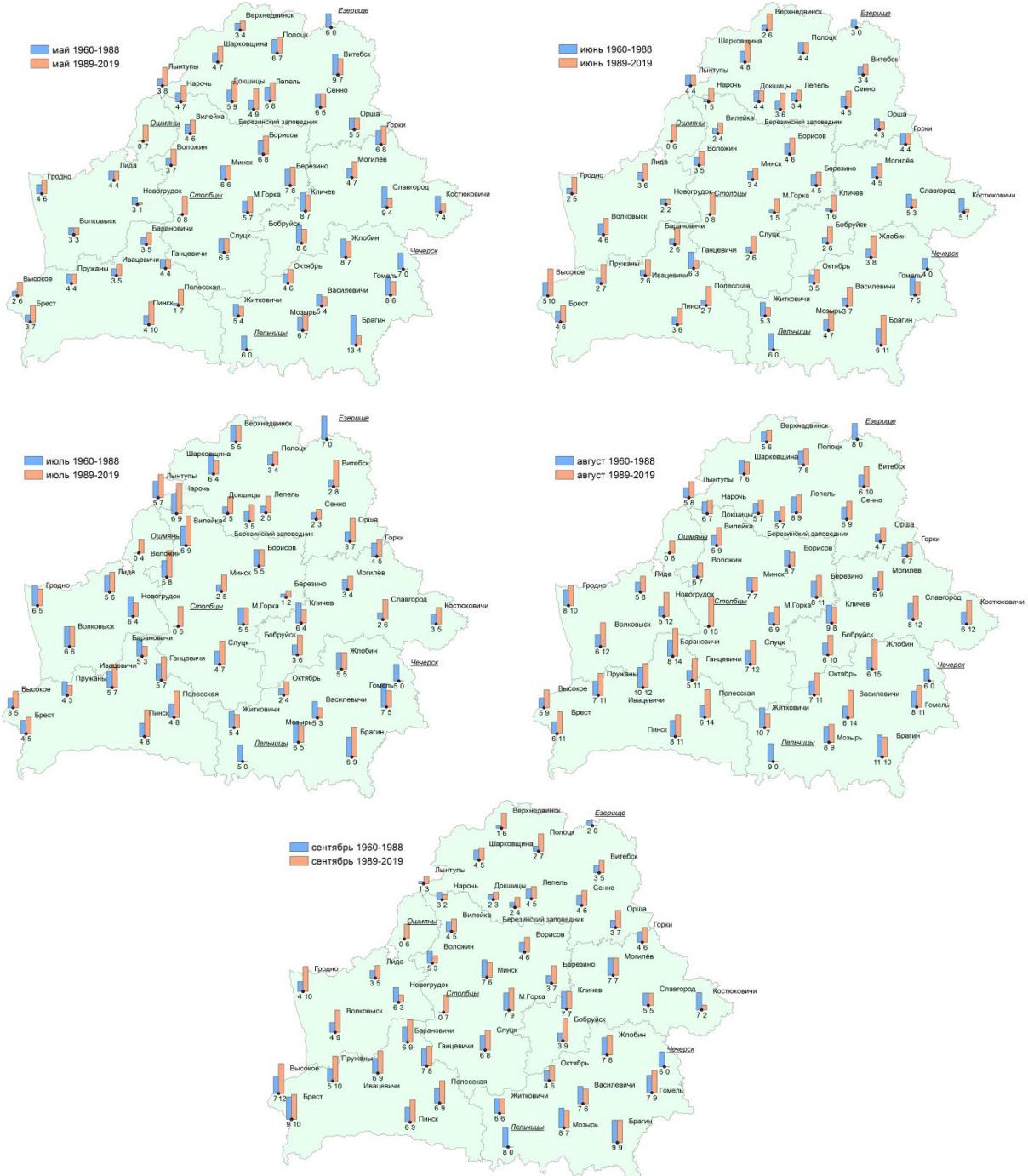


Рис. 3. Повторяемость атмосферных засух (количество лет) в период потепления климата (1989–2019 гг.) и в предшествующий период 1960–1988 гг.

Fig. 3. Frequency of atmospheric droughts during the period of climate warming (1989–2019) and in the previous period 1960–1988 (number of years)

Увеличение числа лет с засухами в июне наблюдается почти на всей территории Беларуси, за исключением северо-восточной и восточной частей и отдельных метеостанций в центре и на юге страны, где повторяемость засух мало изменяется или существенно уменьшается.

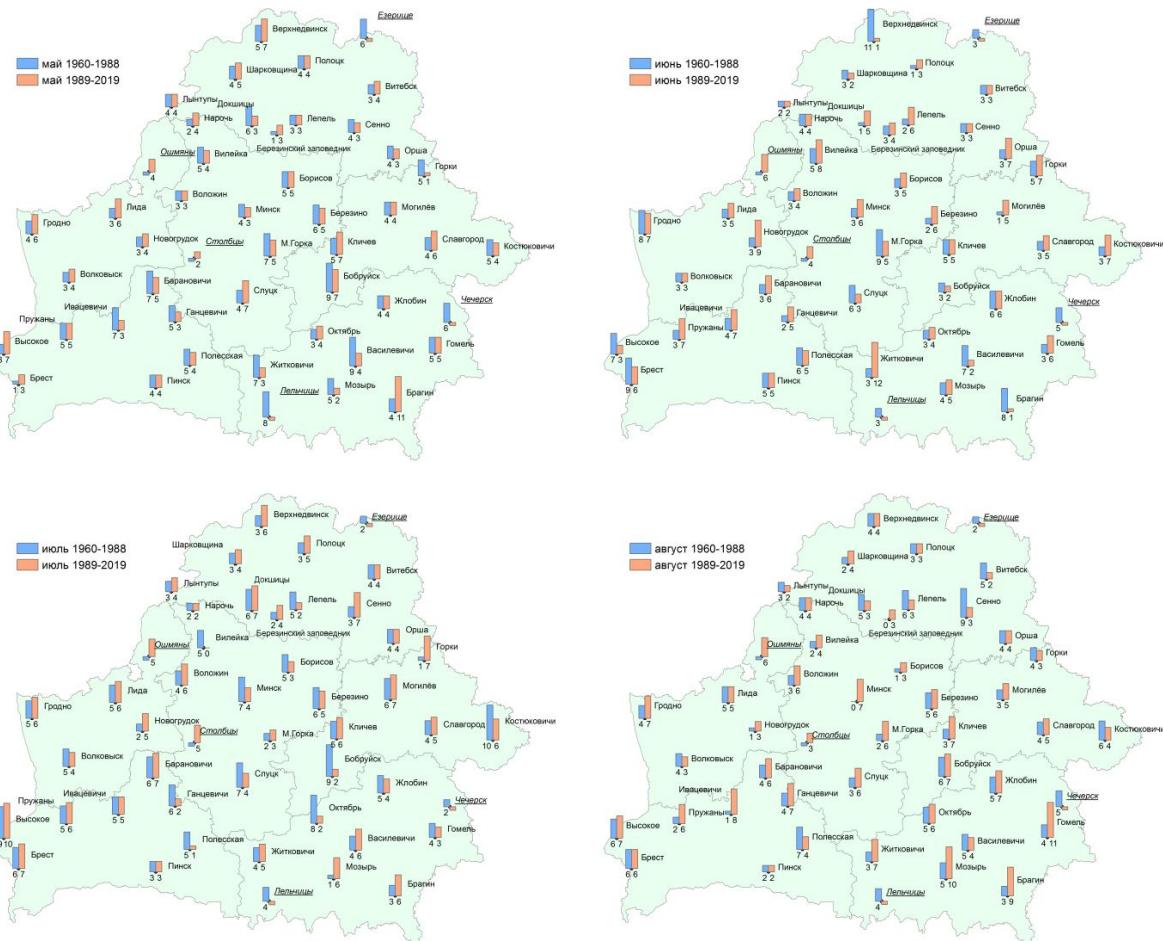
В июле отмечается рост повторяемости засух на северо-западе и севере Беларуси, на отдельных метеостанциях в южной, центральной и восточной ее частях.

В августе отмечается наибольшая повторяемость засух, а также ее значительный рост для большинства метеостанций во всех регионах, за исключением севера Беларуси. На метеостанции Житковичи число лет с засухой уменьшается.

В сентябре отмечается увеличение повторяемости засух преимущественно на юго-западе и западе страны, крайнем севере и северо-востоке, а также заметное снижение повторяемости на востоке (метеостанция Костюковичи).

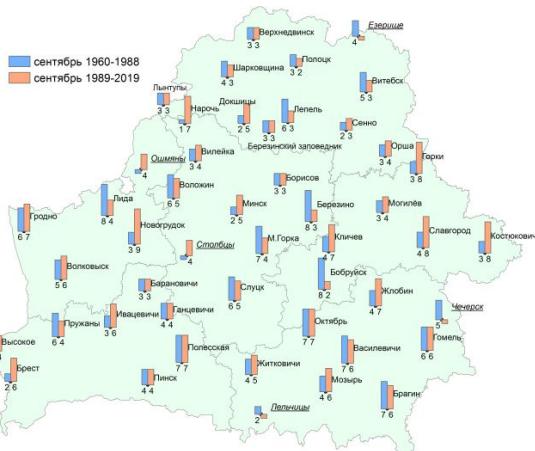
Как уже отмечалось, наибольшая повторяемость засух и увеличение площади их распространения наблюдаются в августе, в ряде регионов отмечены экстремальные засухи. В период потепления климата в этом месяце складывались очень сухие условия ( $\text{ГТК} \leq 0,2$ ) в 2007, 2013, 2018 (на 1–2 метеостанциях), 1992, 1997 (8 МС), 1996, 2002 (15–16 МС), 2015 (33 МС). В предшествовавший потеплению период очень сухие условия в августе отмечены в 1966, 1968, 1975 (на 1–3 метеостанциях), 1972, 1984 (5 МС), 1971 (11 МС), 1973, 1983 (18–19 МС).

Анализ условий увлажнения ( $\text{ГТК} = 0,71\text{--}1,0$ ), предшествующих атмосферной засухе, показал неоднородность изменения их повторяемости (рис. 4).



**Рис. 4. Изменение повторяемости (количество лет) с засушливыми условиями ( $\text{ГТК} = 0,71\text{--}1,0$ ) в месяцы вегетационного периода. Лельчицы, Ошмяны – метеостанции, непрерывные наблюдения на которых проводились только в один из периодов**

**Fig. 4. Change in frequency (number of years) with dry conditions ( $\text{HTC} = 0,71\text{--}1,0$ ) in the months of the growing season. Lelchitsy, Oshmyany – weather stations where continuous observations were carried out only in one of the periods**



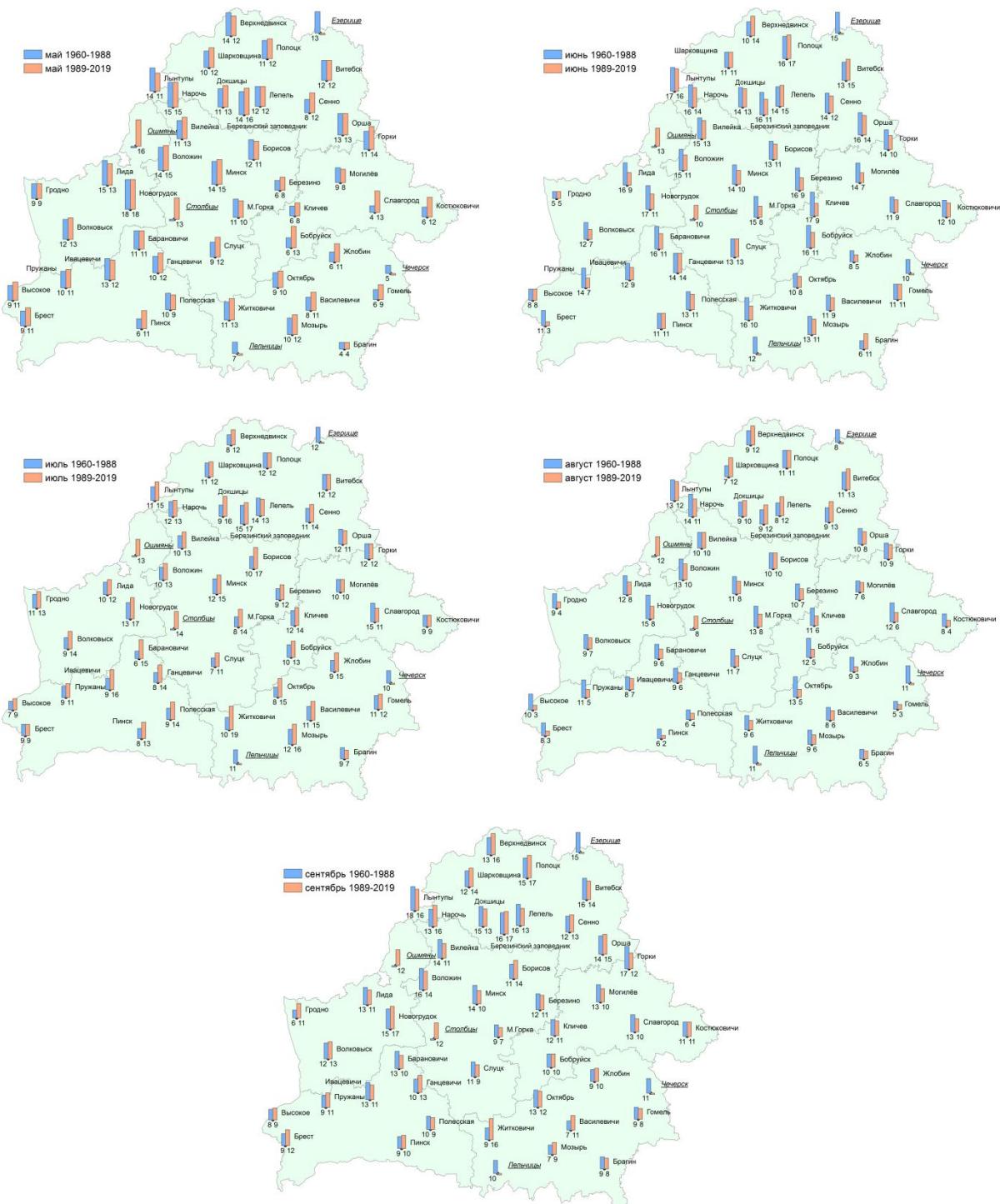
Окончание рис. 4

Ending fig. 4

В мае на многих метеостанциях на юге страны и на некоторых станциях на остальной территории отмечается значительное уменьшение повторяемости засушливых условий. Наибольшее ее увеличение наблюдается на крайнем юго-востоке (МС Брагин), менее выраженный рост – на отдельных метеостанциях по всей территории Беларуси. В июне на большей части территории отмечается увеличение повторяемости засушливых условий, наиболее значительное на МС Житковичи и Новогрудок. Снижение числа лет с засушливыми условиями наблюдается на некоторых метеостанциях в различных регионах, причем наиболее значительное снижение – на юго-востоке (МС Брагин) и севере (МС Верхнедвинск). В июле наиболее существенные изменения (уменьшение) повторяемости засушливых условий отмечается для отдельных метеостанций на юге и востоке страны, наибольший рост повторяемости – на северо-востоке и юго-востоке. В августе на большей части территории отмечается увеличение повторяемости засушливых условий, наиболее значительное – в юго-восточном регионе. Уменьшение числа лет с засушливым августом наблюдается на севере Беларуси, на крайнем востоке и на МС Полесская. В сентябре отмечено наибольшее увеличение повторяемости засушливых условий на востоке Беларуси, на МС Новогрудок (возвышенный участок) и МС Нарочь озерная и заметное уменьшение на нескольких метеостанциях в Минской и Могилевской областях.

**Изменение повторяемости избыточного увлажнения ( $\Gamma\text{ТК} < 1,6$ ).** Анализ изменения количества лет с избыточным увлажнением на метеостанциях Беларуси в период современного потепления климата, по сравнению с предшествующим периодом, позволил выявить следующие особенности (рис. 5). В мае отмечается значительное увеличение повторяемости избыточного увлажнения главным образом на востоке Беларуси и на отдельных южных метеостанциях. В июне на большей части территории, за исключением некоторых северных метеостанций и МС Брагин, повторяемость избыточного увлажнения уменьшается, реже остается неизменной. Значительное ее снижение отмечается на отдельных МС в центральном, восточном, западном регионах и на самом юго-западе Беларуси. Количество лет с избыточным увлажнением в июле увеличивается на большей части территории, особенно в восточных частях Брестской и Минской областей, а также на МС в Гомельской области (Житковичи, Октябрь, Жлобин). В августе на территории Беларуси, кроме северного региона, отмечается значительное уменьшение повторяемости избыточного увлажнения почти на всех метеостанциях. Для большинства МС Витебской области характерно увеличение повторяемости избыточно влажного августа. Изменение количества лет с избыточным увлажнением в сентябре неоднозначно на территории Беларуси. Наибольший рост повторяемости наблюдается на МС Житковичи, снижение – на МС Горки.

**Возможные причины возникновения засух.** Характеристика циркуляции атмосферы в период экстремальных засух конца XX века на Европейской территории России (ЕТР), а также на юге Восточно-Европейской равнины (южнее  $54^{\circ}$  с. ш.) в начале ХХI века с использованием типизации циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому детально представлена в работах [13, 14]. Авторами показано, что засухи над Восточно-Европейской равниной (следовательно, и над территорией Беларуси) формируются при следующих циркуляционных условиях: арктическом вторжении на Восточную Европу, при котором арктический антициклон соединяется с Азорским; арктическом вторжении на Атлантический океан или Западную Европу, при котором формируется мощный отрог Азорского антициклона, продвигающийся на восток; разрушении отрога Азорского антициклона или полосы высокого давления над Восточно-Европейской равниной и образовании стационарных антициклонов.



**Рис. 5. Изменение повторяемости (количество лет) с избыточно влажными условиями ( $ГТК < 1,6$ ) в месяцы вегетационного периода**

**Fig. 5. Change in repeatability (number of years) with excessively wet conditions ( $HTC < 1,6$ ) in the months of the growing season**

Нами выполнен анализ динамических схем элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ), разработанных С. С. Савиной и Л. В. Хмельевской [15] и отражающих географическое положение и площади областей высокого и низкого давления в Северном полушарии. Засухи на территории Беларуси могут быть связаны с блокирующими ЭЦМ для Европейского сектора (4б, 10а, 10б), с отрогами Азорского антициклона (2в, 6, 7ал), антициклоническими образованиями (2а, 3, 9а, 13л). Вопрос влия-

ния особенностей атмосферной циркуляции на формирование засух на территории Беларуси требует более углубленного изучения.

Как показано в работе [3], большие положительные аномалии температуры весной и летом в высоких широтах ( $60\text{--}90^\circ$  с. ш.) за счет уменьшения градиента температур между экватором и полюсом приводят к изменению атмосферной циркуляции: более частому развитию блокирующих процессов и ослаблению зонального переноса.

### **Выходы**

1. Выявлены особенности пространственного изменения осредненного гидротермического коэффициента Г. Т. Селянинова в период потепления климата (1989–2019 гг.) и предшествующий более прохладный период (1960–1988 гг.) с мая по сентябрь. В 1989–2019 гг. установлено увеличение увлажнения до оптимального значения ( $\Gamma\text{TK} = 1,3\text{--}1,6$ ) в восточном и юго-восточном регионах в мае, на юго-востоке страны также в сентябре. В июне увлажнение уменьшилось: на юго-востоке и юго-западе страны наблюдались слабозасушливые условия, значительно сократилась площадь распространения избыточного увлажнения (северо-запад Витебской области). В августе на большей части территории страны (южнее  $54^\circ$  с. ш.) отмечено уменьшение  $\Gamma\text{TK}$  и формирование слабозасушливых ( $\Gamma\text{TK} = 1,1\text{--}1,3$ ), а на юго-востоке засушливых ( $\Gamma\text{TK} < 1,0$ ) условий. В июле наблюдалось увеличение площади распространения избыточного увлажнения ( $\Gamma\text{TK} > 1,6$ ) на юге и западе Беларуси.

2. Установлено значительное уменьшение повторяемости засух в мае на востоке и крайнем юго-востоке Беларуси, их наиболее значительный рост в юго-западном регионе и на севере-северо-западе страны. В июле отмечается пространственная неоднородность в изменении количества лет с засухой: наблюдаются наибольшие рост и значения повторяемости засух как на севере, так и на юге Беларуси. В июне, а также августе и сентябре на территории страны, как правило, увеличивается повторяемость засух, за исключением отдельных станций в различных регионах.

3. Выявлено, что в мае на многих метеостанциях, за исключением западного региона Беларуси, отмечается уменьшение повторяемости засушливых условий ( $\Gamma\text{TK} = 0,71\text{--}1,0$ ), значительный ее рост установлен на крайнем юго-востоке (МС Брагин). В июне на большей части территории наблюдается увеличение числа лет с засушливыми условиями, максимальное на МС Житковичи, а также заметное снижение повторяемости засушливых условий на 1–2 метеостанциях на севере, юго-западе, юго-востоке и в центре Беларуси. В июле и сентябре отмечается неоднородность в изменении количества лет с засушливыми условиями; часто отмечается уменьшение их повторяемости. В августе на большей части территории, за исключением севера страны, отмечается рост повторяемости засушливых условий, наиболее выраженный на метеостанциях юга Беларуси.

4. Отмечено увеличение количества лет с избыточным увлажнением ( $\Gamma\text{TK} < 1,6$ ) в мае в отдельных регионах, особенно на востоке Беларуси, а в июле – значительное увеличение повторяемости избыточного увлажнения на большей части территории, кроме северо-востока и востока страны. Значительное уменьшение повторяемости избыточного увлажнения наблюдается на многих метеостанциях почти по всей территории страны в июне, а также в августе, когда только в северном регионе количество лет с переувлажнением увеличивается. По сравнению с другими месяцами, в сентябре отмечаются пространственная неоднородность и менее выраженные изменения повторяемости избыточного увлажнения, за исключением значительного ее увеличения на МС Житковичи и уменьшения на МС Горки.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность младшему научному сотруднику В. Д. Чернышеву за написание программы для интерполяции значений  $\Gamma\text{TK}$  на территории Беларуси.

**Acknowledgments.** The authors are grateful to Junior researcher V. D. Chernyshev for writing a program for interpolating the values of the SCC on the territory of Belarus.

### **Список использованных источников**

- Логинов, В. Ф. Модельные и эмпирические оценки современных изменений климата / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко. – Минск : Беларуская навука, 2019. – 315 с.
- Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – 2-е изд. – Минск : Энциклопедикс, 2020. – 264 с.
- Логинов, В. Ф. Экстремальные климатические явления: пространственно-временные закономерности их изменений и предпосылки прогнозирования / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка. – Минск : Бел НИЦ «Экология», 2012. – 133 с.
- Справочник по показателям и индексам засушливости [Электронный ресурс] / Всемирная метеорологическая организация. – Женева, 2016. – Режим доступа: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3192](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3192). – Дата доступа: 05.10.2020.

5. Задорнова, О. И. Сравнительная характеристика зарубежных индексов оценки засух по основным зерносеющим субъектам Европейской территории России / О. И. Задорнова // Труды ГГО им. А. И. Войкова. – 2015. – Вып. 578. – С. 126–139.
6. Черенкова, Е. А. О сравнимости некоторых количественных показателей засухи / Е. А. Черенкова, А. Н. Золотокрылин // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2016. – № 2. – С. 79–94.
7. О возможности использования стандартизированного индекса осадков для выявления засух и в прогнозах количественной оценки урожайности зерновых и зернобобовых культур / А. И. Страшная, В. А. Тищенко, О. В. Береза, Н. А. Богомолова // Труды Гидрометеорологического науч.-исслед. Центра Рос. Федерации. Гидрометеорологические прогнозы. – 2015. – Вып. 357. – С. 81–97.
8. Агроклиматические ресурсы Белорусской ССР. Материалы гидрометеорологических наблюдений / под ред. М. А. Гольберга и В. И. Мельника. – Минск, 1985. – 451 с.
9. Агроклиматическое зонирование территории Беларусь с учетом изменения климата [Электронный ресурс] / В. И. Мельник [и др.]. – Минск ; Женева, 2017. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticeskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf>. – Дата доступа: 05.10.2020.
10. Зоидзе, Е. К. О подходе к исследованию неблагоприятных агроклиматических явлений в условиях изменения климата в Российской Федерации / Е. К. Зоидзе // Метеорология и гидрология. – 2004. – Вып. 1. – С. 96–105.
11. Декадный бюллетень / ВНИИСХМ – Центр мониторинга засух. – 2020. – № 15 (21–30 сент.). – 33 с.
12. Лысенко, С. А. Сеточный архив метеорологических данных Республики Беларусь и возможности его применения для исследования пространственно-временных особенностей изменений климата / С. А. Лысенко, В. Д. Чернышев, В. В. Коляда // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 17–27.
13. Кононова, Н. К. Характеристика экстремальных засух конца XX века / Н. К. Кононова // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2017. – Т. 3(13), вып. 1. – С. 35–65.
14. Засухи и динамика синоптических процессов на юге Восточно-Европейской равнины в начале XXI века / Е. А. Черенкова, И. Г. Семенова, Н. К. Кононова, Т. Б. Титкова // Аридные экосистемы. – 2015. – Т. 21, № 2 (63). – С. 5–15.
15. Кононова, Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому / Н. К. Кононова. – М. : Изд-во РАН, Ин-т географии, 2009. – 370 с.

#### R e f e r e n c e s

1. Loginov V. F., Lysenko S. A. *Model'nyye i empiricheskiye otsenki sovremennykh izmeneniy klimata* [Model and empirical estimates of modern climate changes]. Minsk, Belarusian Science Publ., 2019, 440 p. (in Russian)
2. Loginov V. F., Lysenko S. A., Melnik V. I. *Izmeneniye klimata Belarusi: prichiny, posledstviya, vozmozhnosti regulirovaniya* [Climate change in Belarus: causes, consequences, regulation possibilities]. 2-nd publ., Minsk, Encyclopediks, 2020, 264 p. (in Russian)
3. Loginov V. F., Brovka Y. A. *Ekstremal'nyye klimaticheskiye yavleniya: prostranstvenno-vremennyye zakonomernosti ikh izmeneniy i predposyalki prognozirovaniya* [Extreme climatic phenomena: spatio-temporal patterns of their changes and prerequisites for forecasting]. Minsk, BelNRC 'Ecology', 2012, 133 p. (in Russian)
4. *Spravochnik po pokazateljam i indeksam zasushlivosti (Jelektronnyj resurs)* [Handbook on indicators and indices of aridity [Electronic resource]. World Meteorological Organization]. Geneva, 2016. Available at: [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3192](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3192) (accessed 5 October 2020). (in Russian)
5. Zadornova O. I. *Sravnitel'naya kharakteristika zarubezhnykh indeksov otsenki zasukh po osnovnym zernoseyushchim sub'yektam Evropeyskoy territorii Rossii* [Comparative characteristics of foreign indices for assessing droughts for the main grain-sowing regions of the European territory of Russia]. *Trudy GGO imeni A. I. Voyeykova = Proc. MGO n. a. A. I. Voeikov*, 2015, vol. 578, p. 126–139. (in Russian)
6. Cherenkova E. A., Zolotokrylin A. N. *O sravnimosti nekotorykh kolichestvennykh pokazateley zasukhi* [On the comparability of some quantitative drought indicators]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya = Fundamental and Applied Climatology*, 2018, no. 2, p. 79–94. (in Russian)
7. Strashnaya A. I., Tischenko V. A., Bereza O. V., Bogomolova N. A. *O vozmozhnosti ispol'zovaniya standartizirovannogo indeksa osadkov dlya vyavleniya zasukh i v prognozakh kolichestvennoy otsenki urozhaynosti zernovykh i zernobobovykh kul'tur* [On the possibility of using a standardized precipitation index to identify droughts and in forecasts for a quantitative assessment of the productivity of grain and leguminous crops]. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauch.-issled. Tsentra RF. Gidrometeorologicheskiye prognozy = Proc. of the Hydrometeorological Scientific Research Center of the Russian Federation. Hydrometeorological forecasts*, 2015, vol. 357, p. 81–97. (in Russian)
8. *Agroklimaticheskie resursy Belorusskoj SSR. Materialy gidrometeorologicheskikh nablyudenij. Pod red. M. A. Gol'berga i V. I. Mel'nika* [Agro-climatic resources of the Belarusian SSR. Materials of hydrometeorological observations]. Minsk, 1985, 451 p. (in Russian)
9. Mel'nik V. I. [et al.]. *Agroklimaticeskoe zonirovanie territorii Belarusi s uchetom izmenenija klimata (Jelektronnyj resurs)* [Agroclimatic zoning of the territory of Belarus taking into account climate change]. Minsk ; Geneva, 2017 Available at: <https://www.minpriroda.gov.by/uploads/files/Agroklimaticeskoe-zonirovanie-Respubliki-Belarus.pdf> (accessed 5 October 2020). (in Russian)
10. Zoidze E. K. *O podkhode k issledovaniyu neblagopriyatnykh agroklimaticeskikh yavleniy v usloviyah izmeneniya klimata v Rossiyskoy Federatsii* [On the approach to the study of unfavorable agroclimatic phenomena in the con-

- text of climate change in the Russian Federation]. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and Hydrology*, 2004, vol. 1, p. 96–105. (in Russian)
11. *Dekadnyj bulleten'. VNIISHM – Centr monitoringa zasuh* [Decade Bulletin. ARRIAM – Drought Monitoring Center], 2020, no. 15 (21–30 Sept.), 33 p. (in Russian)
  12. Lysenko S. A., Chernyshev V. D., Kolyada V. V. *Setochnyj arkhiv meteorologicheskikh dannykh Respubliki Belarus' i vozmozhnosti ego primeneniya dlya issledovaniya prostranstvenno-vremennykh osobennostej izmenenij klimata* [Grid archive of meteorological data for the Republic of Belarus and the possibility of its use for studying the spatio-temporal features of climate change]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 17–27. (in Russian)
  13. Kononova N. K. *Kharakteristika ekstremal'nykh zasukh kontsa XX veka* [Characteristics of extreme droughts of the late 20th century]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov = Geopolitics and ecogeodynamics of regions*, 2017, vol. 3(13), issue 1, p. 17–27. (in Russian)
  14. Cherenkova E. A., Semenova I. G., Kononova N. K., Titkova T. B. *Zasukhi i dinamika sinopticheskikh protsessov na yuge Vostochno-Yevropeyskoy ravniny v nachale XXI veka* [Droughts and synoptic processes dynamics in the south of the East European Plain at the beginning of the 21st century]. *Aridnyye ekosistemy = Arid ecosystems*, 2015, vol. 21, no. 2 (63), pp. 5–15. (in Russian)
  15. Kononova N. K. *Klassifikatsiya tsirkulyatsionnykh mekhanizmov Severnogo polushariya po B. L. Dzerdzevskому* [Classification of circulation mechanisms of the Northern Hemisphere according to B. L. Dzerdzevsky]. Moscow, Publ. RAS, Institute of Geography, 2009, 370 p. (in Russian)

#### Информация об авторах

**Бровка Юлия Александровна** – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: brovka.yuliya@mail.ru

**Буяков Иван Васильевич** – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: buyakov-ivan@mail.ru

#### Information about the authors

**Yuliya A. Brovka** – Ph. D. (Geography), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: brovka.yuliya@mail.ru

**Ivan V. Buyakov** – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: buyakov-ivan@mail.ru

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2020-2-19-32>

УДК 504.05/.06:711.4

Поступила в редакцию 20.10.2020

Received 20.10.2020

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОТВЕДЕНИЮ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД В РАЙОНАХ СОВРЕМЕННОЙ ЖИЛОЙ ЗАСТРОЙКИ

Ю. П. Анцух, О. Г. Савич-Шемет, Е. В. Гапанович

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

**Аннотация.** Локализация и отведение поверхностных сточных вод с территории современного жилого комплекса в условиях отсутствия централизованной системы дождевой канализации является трудной задачей, требующей комплексного подхода к экологическому управлению дождевыми стоками.

На примере территории проектируемого жилого комплекса «Зеленая Гавань» в Минском районе обоснована принципиальная возможность и разработаны рекомендации по отведению очищенных поверхностных сточных вод с использованием нетиповых решений, включающих фильтрующие полифункциональные элементы ландшафтного дизайна (водоем ландшафтный), фильтрующую закрытую (подземные поля фильтрации) емкость, предназначенную для аккумуляции и дальнейшей фильтрации воды в грунт и далее в водоток в качестве приемника всего объема поверхностного стока с учетом гидрологических и гидрогеологических особенностей территории.

**Ключевые слова:** водоем ландшафтный; прогноз миграции; загрязнение; подземные воды; поля фильтрации подземные; поверхностные сточные воды.

**Для цитирования.** Анцух Ю. П., Савич-Шемет О. Г., Гапанович Е. В. Концептуальный подход к отведению поверхностных сточных вод в районах современной жилой застройки // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 19–32.

## CONCEPTUAL APPROACH TO SURFACE WASTE WATER DRAINAGE IN REGIONS OF MODERN RESIDENTIAL BUILDINGS

Yu. P. Antsukh, O. G. Savich-Shemet, E. V. Gapanovich

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**Abstract.** Localization and removal of surface wastewater from the territory of a modern residential complex in the absence of a centralized sewage system is a difficult task that requires a comprehensive approach to environmental management of stormwater.

On the example of the territory of 'Zelenaya Gavan' projected complex in Minsk region a principal opportunity is grounded and recommendations on treated surface wastewater disposal using atypical solutions, including filtering multi-functional elements of landscape design (landscape pond), filtering closed (underground filtration fields) tank designed for accumulation and further filtration of water into the ground, and then into the watercourse as a receiver of the entire volume of surface runoff taking into account the hydrological and hydrogeological features of the territory are developed.

**Key words:** landscape pond; migration forecast; pollution; underground waters; filtration fields; underground and surface waste waters.

**For citation.** Antsukh Y. P., Savich-Shemet O. G., Gapanovich E. V. Conceptual approach to surface waste water drainage in regions of modern residential buildings. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 19–32.

**Введение.** Условия формирования поверхностного стока на водосборном бассейне в естественных условиях определяются в основном климатическими, геоморфологическими особенностями и геолого-гидрогеологическими условиями территории.

В процессе хозяйственного освоения территории естественная система водоотвода нарушается. Процессы, связанные с хозяйственной деятельностью, приводят к образованию искусственных водоразделов, подтоплению древних ложбин стока и, как следствие, к существенному изменению условий формирования поверхностного и подземного стока.

Формирование поверхностного стока зависит от условий рельефа местности, а расход стока – от размеров водосборной площади и характера использования его территории, к тому же количественные значения стока имеют вероятностный характер.

Одним из основных требований благоустройства территорий современных жилых комплексов является организованное отведение поверхностных сточных вод.

Для отвода поверхностных сточных вод с застроенных территорий на практике с адаптацией к конкретным условиям, как правило, применяются схемы, ориентированные преимущественно на организованное отведение в централизованную систему дождевой канализации и далее в поверхностный водный объект.

Проблема отведения поверхностных вод с территории современного жилого комплекса в условиях недоступности централизованной системы дождевой канализации, наличия ограничений сброса в поверхностный водный объект, перспектив совершенствования ландшафтного благоустройства общественного пространства жилых территорий является актуальной.

В современных условиях при обустройстве ландшафтной среды жилой зоны городских территорий в странах Западной Европы в решениях задач локализации и отведения поверхностных сточных (преимущественно дождевых) вод, в том числе в контексте их использования как перспективного водного ресурса, накоплен достаточно большой опыт [1–3].

В США развиты такие направления, как экологическое управление ливневыми стоками (Ecological Stormwater Management – ESM), а также экологически щадящий подход к дизайну территории (Low Impact De), цель которого – управление городскими ливневыми стоками. В Великобритании похожая программа – устойчивые дренажные системы (Sustainable Drainage Systems – SuDS), в Австралии развита технология управления ливневыми стоками (Water Sensitive Urban Design – WSUD).

В практику разработки градостроительных проектов входит активное использование естественного рельефа территорий. Например, в международной практике создается искусственный рельеф с направленным стоком дождевой воды. При наличии перепада вертикальных отметок на участке пониженная часть открытого пространства может быть спроектирована как дождесборный участок ландшафта [4].

### **Общие сведения о территории исследований**

С целью определения современных условий формирования поверхностного стока на участке проектируемого жилого комплекса «Зеленая Гавань» выполнено исследование геоморфологических, геолого-гидрогеологических особенностей территории.

Исследуемый участок находится восточнее города Минска в аг. Колодищи Минского района.

Площадь проектируемого участка – 318,5 га; в его пределах планируется размещение 18 жилых кварталов.

К югу от участка находятся гольф- поля, с юго-запада – Республиканский биологический заказник «Стиклево», с севера – усадебная застройка «Колодищи-2», с востока – земли военного полигона.

В 500,0 м к югу от участка проектируемого жилого комплекса «Зеленая Гавань» расположен групповой водозабор подземных вод «Дражня», предназначенный для хозяйствственно-питьевого водоснабжения г. Минска. Участок строительства жилого комплекса с объектами инфраструктуры находится в третьем поясе зоны санитарной охраны водозабора подземных вод «Дражня» (рис. 1).

К южной границе участка жилого комплекса примыкает Республиканский биологический заказник «Стиклево», территория которого относится к особо охраняемым природным территориям.

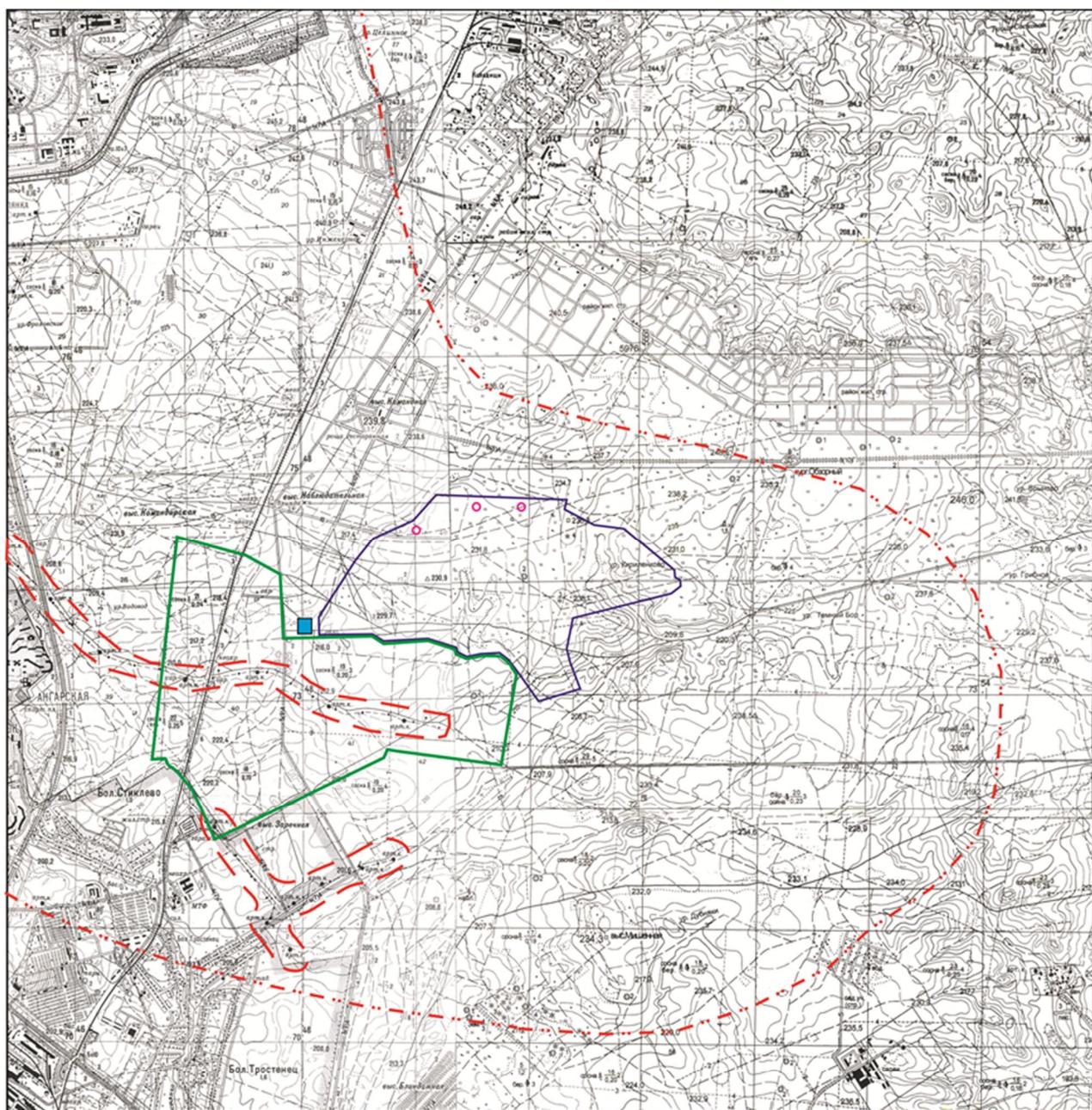
### **Гидролого-геоморфологические условия формирования поверхностного стока**

Территория исследований расположена на юго-восточных склонах Минской возвышенности и приурочена к северо-восточной части водосборного бассейна р. Тростянка [5].

Рельеф холмистый, среднерасчененный, представляет собой чередование конечноморенных гряд и ложбин стока. Преобладающие абсолютные отметки поверхности 210,0–240,0 м; в северо-восточной водораздельной части они более значительные и достигают максимального значения 260,0 м, высота отдельных холмов – 15,0 м [6].

Для оценки условий формирования поверхностного стока в районе исследований было выполнено определение границ водосборных бассейнов с учетом природных и антропогенных факторов. В естественных условиях на территории исследований поверхностный сток в основном дrenируется многочисленными тальвегами и ложбинами стока на водосборной площади. Главный тальвег, приуроченный к древней ложбине стока – одного из истоков р. Тростянка, простирается с северо-востока на юго-запад и охватывает обширные водосборные бассейны (рис. 2, 3).

Следует отметить, что участок проектируемого жилого комплекса «Зеленая Гавань» приурочен к левобережной водосборной территории главного тальвега. Поверхностный сток, формирующийся на правобережной части водосбора, поступает со склоновым стоком к тальвегу и далее транзитом проходит по нему по уклону рельефа в юго-западном направлении, ограничивая тем самым поступление поверхностного стока на территорию жилого комплекса с западной стороны.

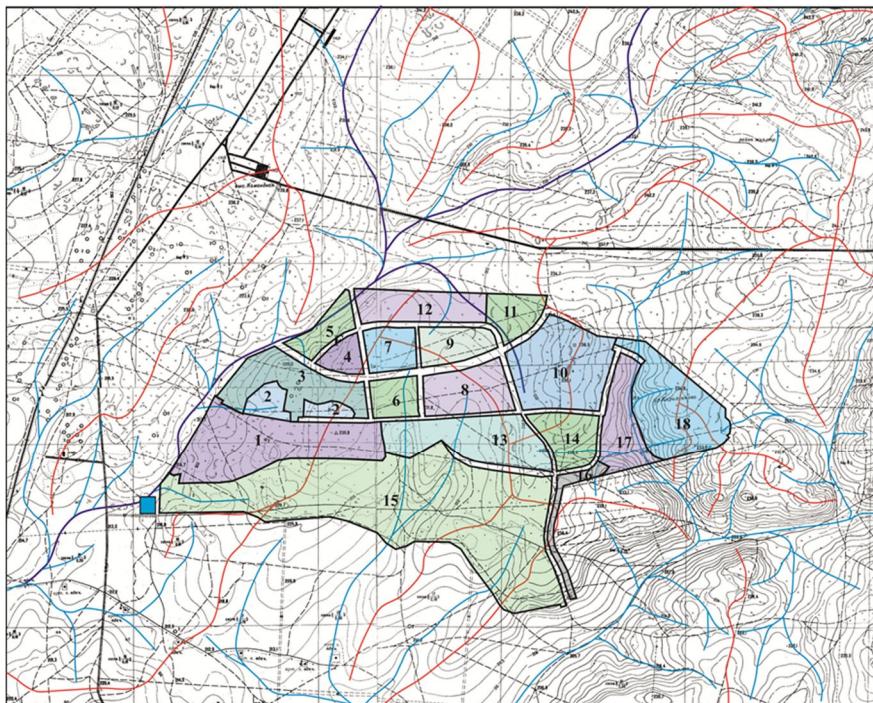


#### Условные обозначения:

- участок строительства Спортивно-туристского гольф-комплекса
- аккумулирующая емкость и поля подземной фильтрации
- граница II пояса зоны санитарной охраны водозабора <Дражня>
- граница III пояса зоны санитарной охраны водозабора <Дражня>
- граница II пояса зоны санитарной охраны водозаборов жилого комплекса
- граница заказника <Стиклево>

Рис. 1. Схема расположения проектируемого жилого комплекса и природоохраных территорий

Fig. 1. Scheme of the proposed location of the residential complex and nature protection territories



Условные обозначения:

- тальвег высокой концентрации поверхностного стока
- главный тальвег
- водораздел
- 7 — граница жилого квартала
- — аккумулирующая емкость и поля подземной фильтрации

Рис. 2. Схема поверхностного стока территории исследований

Fig. 2. Scheme of surface runoff of the research area

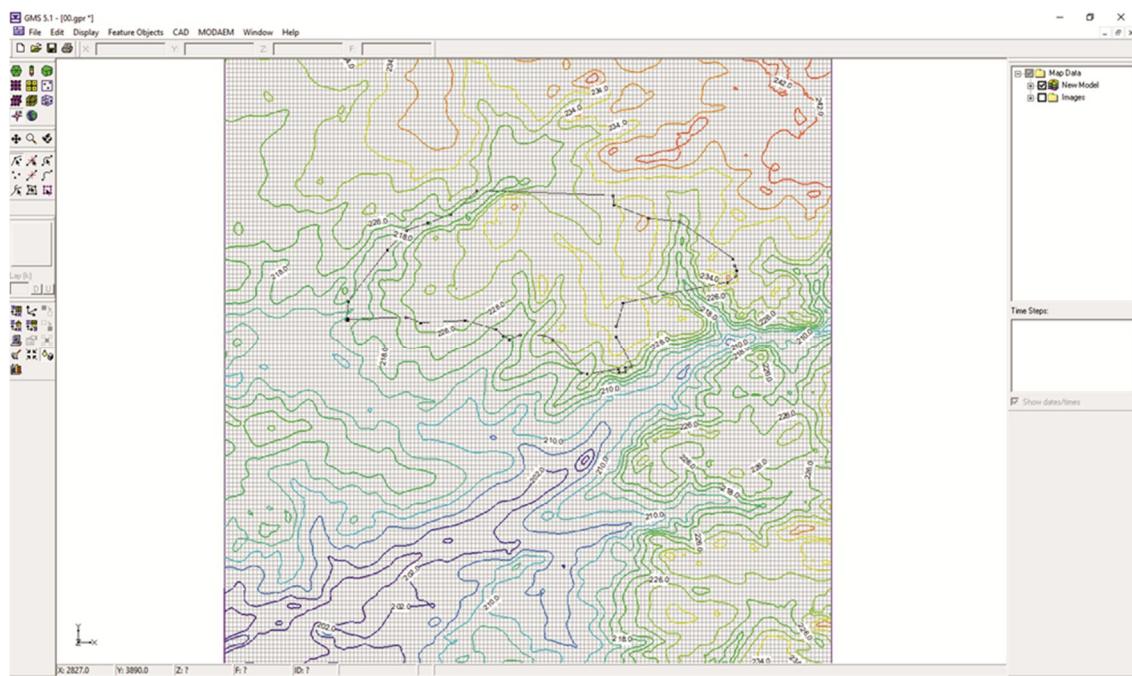


Рис. 3. Гипсометрическая схема территории исследований

Fig. 3. Hypsometric diagram of the research area

На основе анализа полученной схемы условий формирования поверхностного стока, с учетом вертикальной планировки, на застраиваемом участке выделены локальные водосборные бассейны F1–F5 (рис. 4).

#### **Геолого-гидрогеологические особенности территории исследований**

Исходя из целей работы рассмотрено геологическое строение и гидрогеологические условия верхней части разреза (четвертичные отложения), испытывающей наибольшую антропогенную нагрузку. Геологическое строение и гидрогеологические условия приведены по материалам работ [7, 8].

На участке исследований имеются благоприятные геолого-гидрогеологические условия для отвода поверхностных вод: глубокое залегание подземных вод; большая мощность проницаемых грунтов; высокие фильтрационные свойства грунтов.

#### *Днепровский горизонт*

Моренные отложения днепровского горизонта (gIIId) в районе территории исследований залегают на глубинах от 75,0 до 100,0 м. Мощность отложений изменяется от 25,0 до 33,5 м. Представлены моренные отложения супесями и суглинками, реже – глинами валунными.

Водноледниковые днепровско-сожские отложения (f,IgIIId-sz) залегают на глубинах от 43,0 до 56,0 м и перекрыты моренными отложениями сожского горизонта. Мощность водноледниковых отложений составляет 8,5–30,0 м. Представлены описываемые отложения преимущественно песками крупными и среднезернистыми с прослойями озерных супесей и суглинков.

#### *Сожский горизонт*

Моренные отложения сожского горизонта (gIIlsz) распространены повсеместно на территории исследований. Глубина залегания моренных отложений изменяется от 2,0 до 12,5 м. Мощность отложений составляет от 15,0 до 43,5 м. Представлены моренные отложения супесями, суглинками и глинами валунными, с прослойями и линзами песков разнозернистых, песчано-гравийного материала.

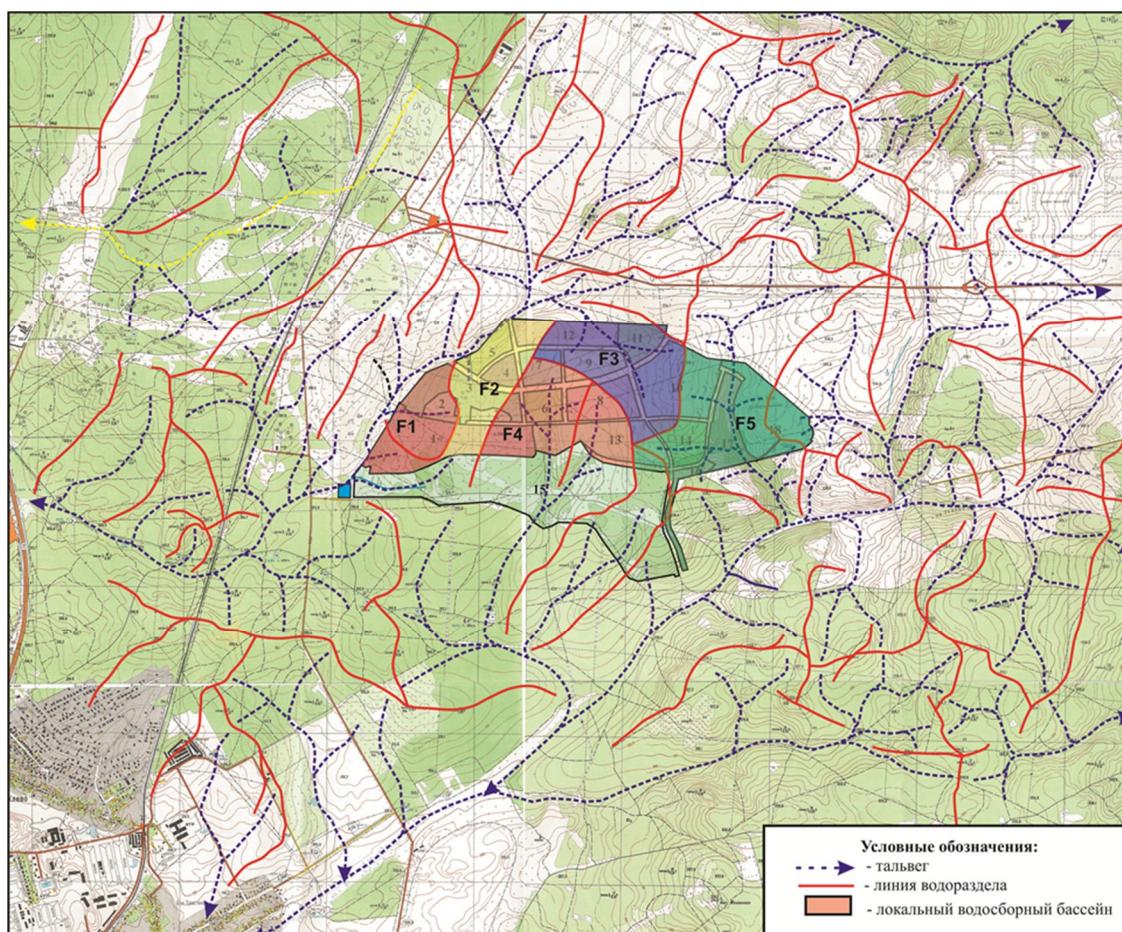


Рис. 4. Схема локальных водосборных бассейнов F1–F5 участка проектируемой жилой застройки

Fig. 4. Diagram of local catchment basins F1–F5 of the planned residential development area

Флювиогляциальные отложения надморенные (fllsz) распространены повсеместно на территории исследований и залегают с поверхности на моренных отложениях сожского горизонта. Мощность флювиогляциальных отложений изменяется от 2,0 до 12,5 м. Представлены отложения преимущественно песками мелкозернистыми.

#### *Плейстоцен-голоценовый горизонт*

Делювиально-пролювиальные отложения (dplIII-IV) широко распространены в пределах денудационной ложбины. Залегают с поверхности на краевых, реже – на моренных и флювиогляциальных зандровых отложениях на разных гипсометрических уровнях. Мощность отложений составляет 3,0–4,0 м. Представлены песками серыми с включением гравия и гальки.

#### *Голоценовый горизонт*

Отложения голоценового горизонта распространены в пойме р. Тростянка и представлены аллювиальными отложениями (alV). Мощность отложений достигает 3,0–5,0 м. Представлены отложения песками различного гранулометрического состава, преимущественно тонко- и мелкозернистыми с гравием и галькой с прослойками супесей и суглинков пылеватых, торфов и ила.

#### *Гидрогеологические условия*

Водоносный голоценовый аллювиальный пойменный горизонт (alV) распространен в пойме р. Тростянка. Залегает с поверхности или под искусственными образованиями. Водовмещающие отложения характеризуются неоднородностью состава, как по площади, так и в вертикальном разрезе. Представлены песками различного гранулометрического состава, преимущественно тонко-мелкозернистыми с гравием и галькой. В песчаной толще встречаются прослои супесей, суглинков, торфов и илов. Воды безнапорные, уровни устанавливаются в основном на глубинах до 2,5 м. Водообильность горизонта слабая. Уровенный режим тесно связан с режимом реки, а также климатическими факторами.

Водоносный сожский надморенный водноледниковый горизонт (fllsz<sup>s</sup>) широко распространен на территории исследований, залегает на сожской морене. Глубины залегания горизонта достигают от 2,0 до 23,0 м, мощность водовмещающих пород изменяется от 1,0 до 18,0 м, увеличиваясь по линии водозабора «Дражня» с северо-запада на восток.

Водовмещающие породы представлены желтовато-бурыми и желтыми песками разнозернистыми, крупно- и мелкозернистыми. По условиям залегания воды в основном безнапорные, статические уровни залегают на глубинах от 0,1 до 17,5–19,5 м. Дебиты скважин изменяются от 0,02 до 4,00 л/с при понижениях уровня на 1,00 и 6,69 м соответственно. Удельные их расходы составляют 0,02–0,50 л/с. Коэффициенты фильтрации изменяются от 0,4 до 45,7 м/сут, преимущественно составляя 3,0–5,0 м/сут. Режим уровней подземных вод горизонта зависит от гидрометеорологических факторов и характеризуется сезонными колебаниями.

Слабоводоносный сожский моренный горизонт (gllsz) распространен почти повсеместно в районе исследований. Подземные воды приурочены к линзам и прослойям песка разнозернистого и песчано-гравийного материала среди моренных супесей и суглинков.

Мощность водовмещающих линз и прослоев различная и изменяется от 0,1 до 13,0 м, преобладают мощности 4,0–6,0 м. Приуроченные к моренным отложениям воды безнапорные или обладают напором, величина которого достигает 15,0–20,0 м. Уровни устанавливаются на глубинах до 34,0 м и более. Водообильность моренных отложений невысокая, дебиты скважин изменяются от 0,009 до 8,95 л/с при понижениях уровней на 4,35–12,83 м. Коэффициенты фильтрации песчаных прослоев не превышают 2,0–7,0 м/сут. Уровенный режим зависит от метеорологических условий. Питание вод осуществляется путем инфильтрации атмосферных осадков или перетекания вод вышележащих отложений через опесчаненные участки морены. Дренируются они в основном гидросетью.

Водоносный днепровско-сожский водноледниковый горизонт (f,lglld-sz) имеет повсеместное распространение, подстилается в основном днепровской мореной, реже – нерасчлененным комплексом водноледниковых отложений березинско-днепровского горизонта. В тех случаях, когда водоносный горизонт перекрывается или подстилается песчаными отложениями, образуется единая водоносная толща, обеспечивающая тесную гидравлическую взаимосвязь водоносных горизонтов и комплексов. Глубина залегания кровли водоносного горизонта изменяется от 23,7 до 65,0 м. Мощность водовмещающих пород, как и глубина их залегания, подвержена значительным колебаниям и изменяется от 12,0 до 42,0 м, составляя в среднем 22,0–33,5 м. Представлены водовмещающие породы песками различного гранулометрического состава, преимущественно крупно- и разнозернистыми, иногда с линзами и прослойями супесей и суглинков, имеющих ленточную слоистость. По условиям залегания и характеру движения подземные воды напорные, пластово-порового типа. Глубина залегания пьезометрического уровня изменяется от 5,0 до 30,0 м.

### **Оценка возможных вариантов отведения поверхностных сточных вод**

Обоснование принципиального решения по отведению поверхностного (преимущественно дождевого) стока, формирующегося на территории жилого комплекса «Зеленая Гавань», базируется на группе факторов, основным из которых является количественный параметр дождевого стока, рассчитанный с учетом анализа климатических условий, пространственной мозаичности видов поверхности различных функциональных зон территории комплекса.

Рассчитанный объем поверхностного стока за расчетный дождь с территории всей застройки составляет 49 453,0 м<sup>3</sup>. Рассчитанный максимальный суточный объем талых вод  $I_t$  в середине периода снеготаяния составляет 19 760,0 м<sup>3</sup>.

Анализ материалов по формированию объемных параметров, локализации и возможных вариантов отведения поверхностного стока с территории жилого комплекса показал, что в качестве потенциально возможных вариантов отведения можно рассмотреть следующие.

*Вариант 1.* Сточные воды со всей территории комплекса поступают в существующие фильтрующие аккумулирующую и закрытую (подземные поля фильтрации) емкости, предназначенные для аккумуляции и дальнейшей фильтрации воды в грунт.

*Вариант 2.* Поверхностные сточные воды отводятся с использованием р. Тростянка в качестве приемника всего объема поверхностного стока, формируемого на территории комплекса.

*Вариант 3.* Поверхностные сточные воды с территории проектируемого жилого комплекса «Зеленая Гавань» дифференцируются по водосборным бассейнам и отводятся с применением нетиповых решений:

– создания каскадной группы полифункциональных элементов ландшафтного дизайна, выполняющих роль первичной аккумуляции стока и его последующей фильтрации в зону аэрации в установленном режиме;

– искусственного пруда для удержания дождевой воды на участке размещения гольф-полей и использования его в качестве функционального элемента – «водной преграды» для игры в гольф;

– конструктивное устройство выпуска в виде веерного распределения поверхностного стока у юго-восточной границы территории проектируемого объекта, в том числе с учетом обеспечения объемных характеристик стока с естественным гидрологическим режимом территории.

*Вариант 1.* Существующая аккумулирующая емкость предназначена для аккумуляции и дальнейшей фильтрации в грунт поверхностного и очищенного хозяйствственно-бытового стока в теплый период. Подземные поля фильтрации (закрытая емкость) предназначены для аккумуляции и дальнейшей фильтрации в грунт поверхностного (в периоды оттепелей) и очищенного хозяйствственно-бытового стока в зимний (холодный) период, а также при максимальной нагрузке и переполнении открытой аккумулирующей емкости в теплый период посредством распределительного устройства.

По результатам выполненных исследований с учетом геолого-гидрогеологических условий территории среднесуточный объем поступающей в аккумулирующую емкость воды может составить 6750,0 м<sup>3</sup>/сут, максимальная величина возможной суточной фильтрации посредством закрытой емкости – 9000 м<sup>3</sup>/сут.

Объемы формирования сточных вод с территории застройки в соответствии с очередностью освоения территории приведены в таблице, из которой видно, что решения по отведению очищенных поверхностных и хозяйствственно-бытовых сточных вод посредством аккумулирующей и закрытой (подземные поля фильтрации) емкостей суммарной фильтрующей способностью 15 750,0 м<sup>3</sup>/сут в теплый период и 9000 м<sup>3</sup>/сут в холодный период позволяют осуществлять отвод очищенных сточных вод с территории строительства кварталов № 1, 2, 3, 4, 6, 7 и 13, объемы которых составляют 15 122,8 и 7999,9 м<sup>3</sup>/сут соответственно, что не обеспечивает отведение сточных вод со всего участка.

В связи с этим в данном варианте предусматривается увеличение мощности аккумулирующей и закрытой емкостей.

Среднегодовой суммарный объем поверхностных и хозяйствственно-бытовых сточных вод без учета объема поверхностных сточных вод с территории гольф-полей (квартал № 15) для теплого периода составляет 38 053,0 м<sup>3</sup>; для холодного периода – 15 717,3 м<sup>3</sup>.

Как указывалось выше, существующие аккумулирующая и закрытая (подземные поля фильтрации) емкости суммарно могут принять в теплый период 15 750,0 м<sup>3</sup>/сут сточных вод, а оставшийся объем стока составляет 22 303,0 м<sup>3</sup>/сут.

**Объемы формирования сточных вод с территории жилой застройки, м<sup>3</sup>****Volumes of waste water generation from residential development, m<sup>3</sup>**

Номер квартала	Теплый период			Холодный период		
	Дождевой сток	Хоз.-быт. сточные воды	Всего	Талый сток	Хоз.-быт. сточные воды	Всего
1	–	–	–	3497,5	–	–
1, 2	2483,4	–	–	3885,0	–	–
1, 2, 3	6158,4	272,4	6430,8	4785,0	272,4	5057,4
1, 2, 3, 4	6960,1	467,5	7427,6	4987,5	467,5	5455,0
1, 2, 3, 4, 6	8510,2	699,6	9209,8	5272,5	699,6	5972,1
1, 2, 3, 4, 6, 7	10 062,5	931,6	10 994,1	5602,5	931,6	6534,1
1, 2, 3, 4, 6, 7, 13	13 969,2	1153,6	15 122,8	6846,3	1153,6	7999,9
1, 2, 3, 4, 6, 7, 13, 15	24 788,1	1212,9	26 001,0	13 966,3	1212,9	15 179,2
1, 2, 3, 4, 6, 7, 13, 15, 16	26 058,9	1230,9	27 289,8	14 180,1	1230,9	15 411,0
1, 2, 3, 4, 6, 7, 13, 15, 16, 8	29 057,3	1708,9	30 766,2	14 708,9	1708,9	16 417,8
1, 2, 3, 4, 6, 7, 13, 15, 16, 8, 14	30 610,6	1848,2	32 458,8	15 268,9	1848,2	17 117,1
1, 2, 3, 4, 6, 7, 13, 15, 16, 8, 14, 9	32 510,0	2189,6	34 699,6	15 542,7	2189,6	17 732,3
1, 2, 3, 4, 6, 7, 13, 15, 16, 8, 14, 9, 10	37 353,2	3069,1	40 422,3	16 814,0	3069,1	19 883,1
1, 2, 3, 4, 6, 7, 13, 15, 16, 8, 14, 9, 10, 11	38 900,4	3205,7	42 106,1	17 039,0	3205,7	20 244,7
1, 2, 3, 4, 6, 7, 13, 15, 16, 8, 14, 9, 10, 11, 17	40 556,4	3323,5	43 879,9	17 845,3	3323,5	21 168,8
1, 2, 3, 4, 6, 7, 13, 15, 16, 8, 14, 9, 10, 11, 17, 18	44 957,4	3914,5	48 871,9	18 922,8	3914,5	22 837,3

Расчет фильтрации воды в подстилающие грунты из аккумулирующей емкости выполняем по формуле (1):

$$Q = k \frac{H}{h} S, \quad (1)$$

где  $Q$  – фильтрация из аккумулирующей емкости, м<sup>3</sup>/сут;  $k$  – коэффициент фильтрации грунта под дном аккумулирующей емкости = 5,0 м/сут;  $H$  – уровень воды в бассейне над кровлей водоупора, м: 213,5 – 200,0 = 13,5;  $h$  – мощность водопоглощающих пород под дном бассейна, м: 212,0 – 200,0 = 12,0;  $S$  – площадь фильтрующего дна аккумулирующей емкости.

По формуле (1) для указанного объема – 22303,0 м<sup>3</sup>/сут, площадь фильтрации в открытой аккумулирующей емкости должна быть не менее 3964,9 м<sup>2</sup>.

В соответствии с расчетом возможного объема фильтрации при постоянном уровне воды в траншее по формуле (2) площадь фильтрации в закрытой емкости должна быть не менее 4460,6 м<sup>2</sup>:

$$Q = v_0 F_T. \quad (2)$$

где  $v_0$  – скорость вертикальной фильтрации через слой песчаных отложений;  $F_T$  – площадь фильтрующей поверхности траншеи.

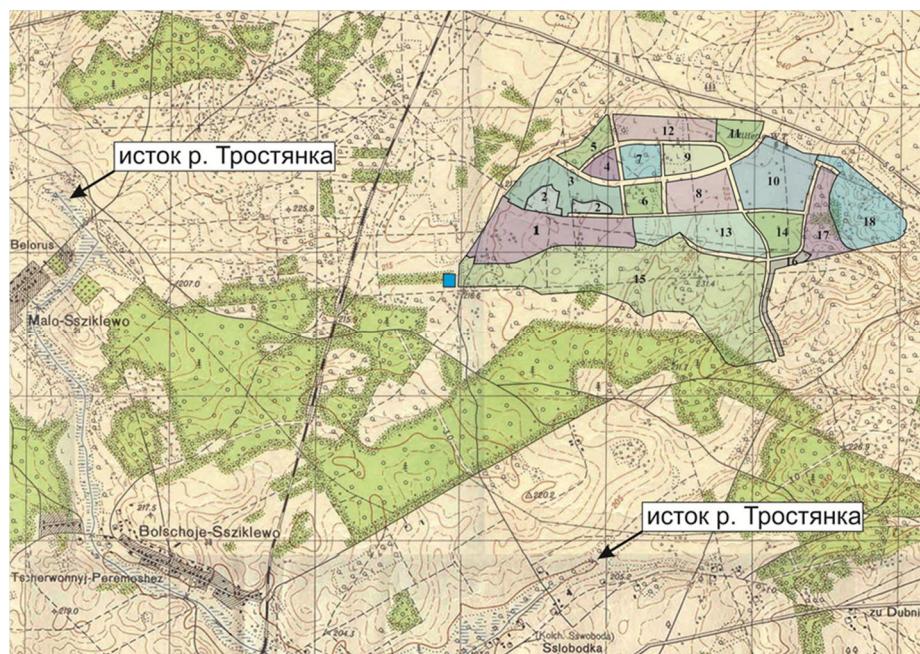
Дополнительная площадь фильтрации для холодного периода должна составлять не менее 1343,5 м<sup>2</sup>.

Значит, при увеличении мощности аккумулирующей **или** закрытой (подземные поля фильтрации) емкостей, необходимы дополнительные площади не менее 3964,9 м<sup>2</sup> для открытой аккумулирующей емкости и не менее 4460,6 м<sup>2</sup> – для закрытой (подземные поля фильтрации).

Таким образом, в условиях необходимости выделения значительных площадей под устройство дополнительных аккумулирующей **или** закрытой (подземные поля фильтрации) емкостей реализация предложенного варианта является нецелесообразной.

**Вариант 2.** Река Тростянка принадлежит к бассейну р. Березина и является левым притоком р. Свислочь. Имеет два истока – восточный и северный (рис. 5).

Восточный исток находится в 2,0 км от юго-западной границы участка жилого комплекса.



**Рис. 5. Местоположение истоков реки Тростянка**

**Fig. 5. Location of the sources of the Trostyanka river**

В современных условиях в результате эксплуатации водозабора подземных вод «Дражня», река в верхнем и среднем течении пересыхает. Постоянный сток в реке отмечается ниже южной окраины д. Большой Тростенец, в месте пересечении русла реки и автодороги М-4.

В период выпадения ливневых дождей в русле реки отмечаются участки затопления поймы в районе д. Большой Тростенец.

К югу от рассматриваемого участка застройки прослеживается ложбина стока юго-западного направления со слабо выраженным руслом, впадающая в р. Тростянка (см. рис. 3).

Предложенный вариант предполагает отведение полного объема поверхностных сточных вод с территории жилого комплекса в «сухое» русло восточного истока р. Тростянка. Решение отведения полного объема поверхностных сточных вод, формируемых на территории жилого комплекса в «сухое» русло восточного истока р. Тростянка влечет изменение гидрологического режима поверхностного водного объекта, проявляющееся в поднятии уровня воды в русле реки в нижнем течении (д. Большой Тростенец). На отдельных участках в местах сужения русла ожидаются вылив воды на пойму и затопление территории жилой усадебной застройки.

*Вариант 3.* В современных условиях при обустройстве ландшафтной среды жилой зоны городских территорий актуальным является вопрос возможности использования дождевой воды как перспективного ресурса ландшафтного дизайна.

Морфометрические особенности территории планируемого жилого комплекса, обусловливающие превалирующие направления дождевых потоков, легли в основу ее дифференциации по площади на локальные водосборные бассейны F1–F5 с перераспределением объемов дождевого стока. Пониженные участки в этой схеме рассматриваются как территория для размещения сооружений отведения стока.

Схема отведения поверхностного стока, формируемого на территории Спортивно-туристского гольф-комплекса с использованием нетиповых решений, приведена на рис. 6.

С локального водосбора F1 поверхностные сточные воды поступают в аккумулирующую и закрытую емкости.

С локального водосбора F2 поверхностные сточные воды поступают в полифункциональный элемент ландшафтного дизайна (ландшафтный водоем № 1).

С локального водосбора F3 поверхностные сточные воды поступают в полифункциональный элемент ландшафтного дизайна (ландшафтный водоем № 2).

С локального водосбора F4 поверхностные сточные воды поступают в искусственный пруд для удержания дождевой воды на участке, примыкающему к гольф-полям, и используемом в качестве функционального элемента игры в гольф – «водной преграды».

С локального водосбора F5 поверхностные сточные воды поступают в фильтрующую траншею.

Обоснование принципиального конструктивного решения отведения поверхностного стока, в полной мере отвечающего требованиям природоохранного и санитарного законодательства, основывается на принципе использования дождевых вод для организации ландшафтного благоустройства жилой территории, посредством устройства полифункциональных элементов ландшафтного дизайна.

Полифункциональный элемент ландшафтного дизайна является нетиповым вариантом отведения поверхностного (дождевого) стока и представляет собой спланированное углубление в земной поверхности (в виде ландшафтного водоема), приуроченное к естественному понижению территории, засаженное травяной растительностью или другими видами растений, допускающими периодическое затопление.

Для обеспечения самотечного режима отведения поверхностного стока с использованием рельефа территории целесообразно устройство в северной и северо-восточной части территории комплекса каскадной группы полифункциональных элементов ландшафтного дизайна, выполняющих роль первичной аккумуляции стока и его последующей фильтрации в зону аэрации в установленвшемся режиме (см. рис. 6).

Предлагаемое местоположение полифункциональных элементов ландшафтного дизайна полностью соотносится с геолого-гидрогеологическими условиями территории комплекса.

Значительная мощность зоны аэрации (более 10,0 м), представленной песками различной степени крупности, рассматривается как пространство, принимающее фильтрующиеся воды.

Полифункциональный элемент ландшафтного дизайна будет характеризоваться в период прохождения дождей наличием водной поверхности (ландшафтного водоема), а в бездождевой период будет представлять озелененную территорию (газон).

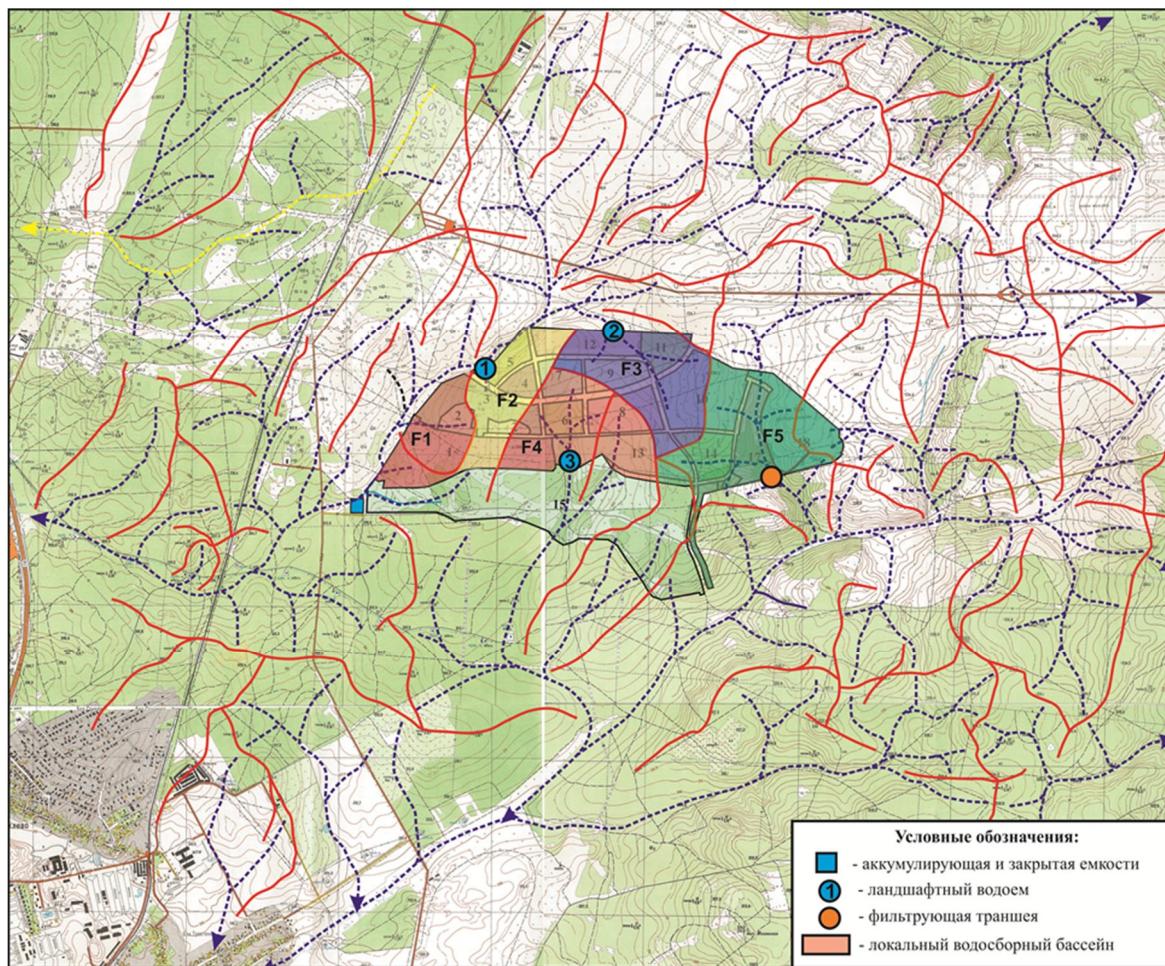


Рис. 6. Схема отведения поверхностного стока с участка проектируемой жилой застройки (вариант 3)

Fig. 6. Scheme of surface runoff discharge from the site of the projected residential development (option 3)

Площадь водоема определяется исходя из объемов поверхностных сточных вод и средней глубины 1,5 м.

Несмотря на то что водоем является искусственным водным объектом, для него будут характерны физико-химические процессы, действующие для природных водоемов, – фильтрационные потери через дно и борта, а также испарение с поверхности. С целью поддержания фильтрационных характеристик водоема в безводные периоды необходимо предусмотреть чистку дна от заиливания.

Естественность полифункциональных элементов ландшафта, используемых для водоотведения поверхностного стока, обусловит их благоприятное эстетическое восприятие, дополняя природную среду, выгодно вписываясь в архитектурную концепцию ландшафтного благоустройства общественного пространства жилых территорий комплекса «Зеленая Гавань».

Для управления дождевой водой, локализующейся на водосборной территории F4, примыкающей к существующим гольф-полям (см. рис. 6), возможна реализация решения по устройству искусственного пруда для удержания дождевой воды на участке размещения гольф-полей и использования его в качестве функционального элемента игры в гольф – «водной преграды».

В этой связи представляется конструктивным оснащение пруда со слабо фильтрующимся основанием, что может быть реализовано путем укладки противофильтрационного экрана из глинистого грунта. Такое решение позволит уменьшить фильтрацию воды и защитит водоем от пересыхания.

Решение пруда в виде «водной преграды» органично впишется в контекст спортивного сооружения.

Для локализации и отведения дождевого стока у юго-восточной границы территории жилого комплекса размещен локальный водосборный бассейн F5 (см. рис. 6), в соответствии с геологогидрогеологическими условиями территории целесообразно применение устройства его выпуска в виде веерного распределения поверхностного стока в зону аэрации.

Фильтрующие траншеи относятся к типу сооружений подземной фильтрации, оросительная сеть (дренажная труба) которых проложена в слое искусственной фильтрующей загрузки (щебень, гравий, ПГС). Предназначены для рассеянного выпуска сточных вод.

Фильтрация в зону аэрации – свободная фильтрация, при которой фронт фильтрационного потока при фильтрации не связан с поверхностью подземных вод, а проходит в сухие грунты. При достижении фронтом фильтрации поверхности подземных вод начинается фильтрация с растеканием по водоносному горизонту.

В случае отсутствия водоносного горизонта фронт фильтрационного потока достигает водоупора и по его поверхности происходит растекание. Фильтрация воды в зоне аэрации зависит от проницаемости и пористости слагающих ее пород. На участке строительства объекта имеются благоприятные геологогидрогеологические условия для отвода поверхностных вод.

Фильтрующаяся под действием гравитационных сил вода будет процеживаться вниз до кровли первого водоупора. Далее возможны три варианта распространения фильтрующихся вод в зависимости от морфометрических особенностей кровли водонепроницаемых отложений (водоупора) (рис. 7):

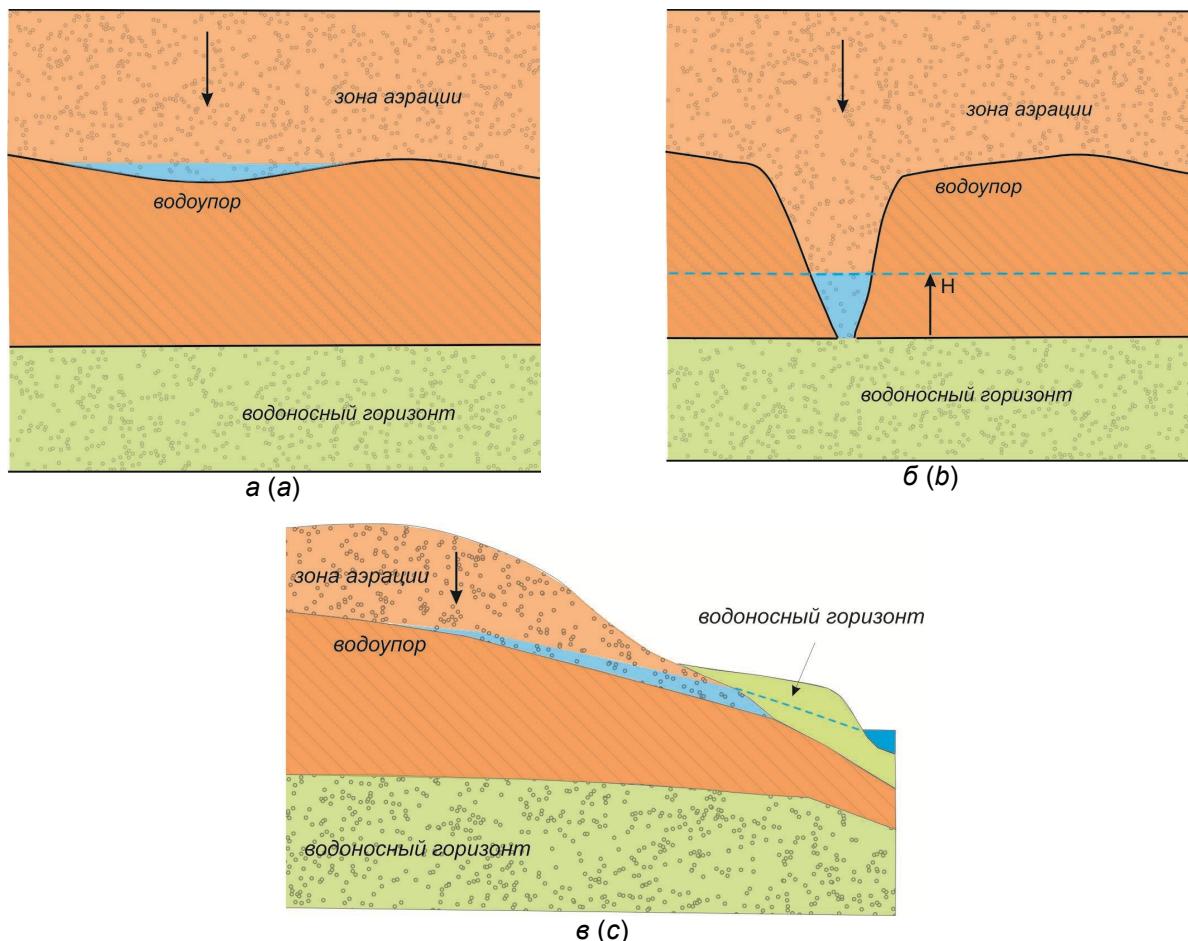
1) фильтрующиеся воды после достижения водоупора, имеющего конфигурацию в виде выемки, будут скапливаться в его кровле, образуя горизонт подземных вод;

2) фильтрующиеся воды через «литологические окна» в толще слабопроницаемых отложений будут перетекать в нижезалегающий водоносный горизонт;

3) фильтрующие воды по уклону кровли водоупора будут образовывать потоки, продвигаясь в сторону разгрузки (к речным долинам, понижениям в рельефе).

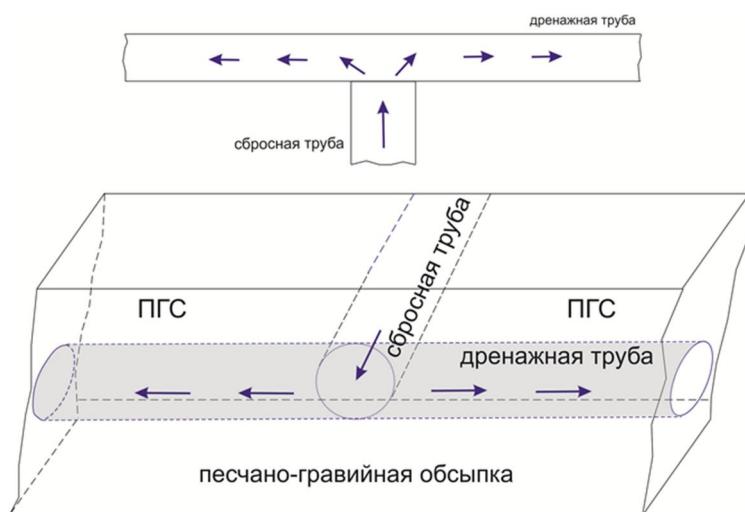
По данным геологогидрогеологических исследований на участке залегают грунты, представленные песками различного гранулометрического состава, преимущественно среднезернистые, что создает благоприятные условия для фильтрации поверхностных сточных вод. Коэффициент их фильтрации составляет 5,0 м/сут.

Фильтрующая траншея устраивается по границе участка (см. рис. 6). Схема устройства фильтрующей траншеи приведена на рис. 8. Отведение поверхностных вод по предложенной схеме не нарушит сложившуюся естественную систему поверхностного стока и не изменит гидрологический режим на прилегающей территории. Следует отметить, что отведение поверхностного стока в зону аэрации (мощность песков) обеспечивает совместимость объемных характеристик стока с естественным гидрологическим режимом территории.



**Рис. 7. Схема распространения отводимых вод при реализации варианта 3 отведения поверхностного стока с участка проектируемой жилой застройки: а – водоупор в виде выемки; б – наличие «литологического окна» в водоупоре; в – кровля водоупора под уклоном**

**Fig. 7. The scheme of distribution of the exhaust water in the implementation of the option 3 of diversion surface runoff from the site of the proposed residential development; a – water seal in the form of a recess; b – the presence of ‘lithological Windows’ in the aquitard; c – the roof of the impermeable layer under a bias**



**Рис. 8. Схема фильтрующей траншеи**

**Fig. 8. Scheme of the filter trench**

## **Выводы**

Предложен концептуальный подход к отведению поверхностных (преимущественно дождевых) сточных вод, с территории современной жилой застройки, на примере проектируемого жилого комплекса «Зеленая Гавань» в Минском районе, в условиях недоступности централизованной системы дождевой канализации, отсутствия из-за имеющихся природоохранных ограничений возможности их отведения в ближайший поверхностный водный объект.

В основу комплекса ключевых положений положен принцип управления дождевыми сточными водами путем их дифференциации по локальным водосборам и последующим отведением с использованием решений, в полной мере отвечающим требованиям природоохранного и санитарного законодательства.

На основе анализа формирования объемных характеристик поверхностных сточных вод с локальных водосборных бассейнов, гидрологических и гидрогеологических особенностей территории жилого комплекса «Зеленая Гавань» обоснован вариант отведения поверхностных сточных вод, включающий комплекс нетиповых решений:

- конструктивное устройство выпуска в виде веерного распределения поверхностного стока в зону аэрации, в том числе с учетом обеспечения совместы объемных характеристик стока с естественным гидрологическим режимом территории;

- устройство искусственного пруда для удержания дождевой воды на участке размещения гольф-полей и использования его в качестве функционального элемента – «водной преграды» для игры в гольф;

- создание каскадной группы полифункциональных элементов ландшафтного дизайна в виде спланированных углублений в земной поверхности, приуроченных к естественному понижению территории, засаженных травяной растительностью или другими видами растений, допускающими периодическое затопление, выполняющих роль первичной аккумуляции поверхностного стока и его последующей фильтрации в зону аэрации в установленном режиме.

Использование предложенного решения для отведения поверхностных сточных вод с водосборной площади современной жилой застройки позволит наряду с обеспечением эколого-защитной функции их накопления и очистки в естественных условиях одновременно увеличить ландшафтный потенциал жилой зоны городской территории.

## **Список использованных источников**

1. Scholz, M. Case study: design, operation, maintenance and water quality management of sustainable storm water ponds for roof runoff / M. Scholz // Bioresource Technology. – 2004. – Vol. 95. – P. 269–279.
2. Shutes, B. Constructed wetlands for flood prevention and water reuse / B. Shutes, M. Revitt, L. Scholes // Urban Pollution Research Centre. – 2010. – P. 1–8.
3. Волчек, А. А. Сток с урбанизированных территорий и его очистка / А. А. Волчек, И. В. Бульская // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 88–82.
4. Чибириева, С. В. Устойчивое управление дождевыми садами / С. В. Чибириева // VIII Международный научный электронный форум. – Нижегородский гос. арх.-строит. ун-т, 15.02.–31.03.2016 г.
5. Блакітны скарб Беларусі: рэкі, азёры, вадасховішчы / маст.: Ю. А. Тарэеў, У. І. Цярэнцьеў. – Мінск : БелЭн, 2007. – 480 с.
6. Матвеев, А. В. Рельеф Белоруссии / А. В. Матвеев, Б. Н. Гурский, Р. И. Левицкая. – Минск : Университетское, 1988. – 320 с.
7. Геология Беларуси. – Минск : Ин-т геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 816 с.
8. Обзор подземных вод Минской области. – Минск, 1976. – Т. II : Буровые на воду скважины. Дзержинский район.

## **References**

1. Scholz M. Casestudy: design, operation, maintenance and water quality management of sustainable storm water ponds for roof runoff. *Bioresource Technology*, 2004, vol. 95, pp. 269–279.
2. Shutes B., Revitt M., Scholes L. Constructed wetlands for flood prevention and water reuse. *Urban Pollution Research Centre*, 2010, pp. 1–8.
3. Volchek A. A., Bul'skaya I. V. *Stok s urbanizirovannymi territorij i ego ochistka* [Runoff from urbanized areas and its treatment]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 2, pp. 88–82. (in Russian)
4. Chibiryeva S. V. *Ustoichivoe upravlenie dozhdevymi sadami VII* [Sustainable management of rain gardens]. VII Mezhdunarodnyj nauchnyj elektronnyj forum [VIII Int. sci. electronic forum]. – Nizhny Novgorod state architect-building. un-t, 15.02.–31.03.2016. (in Russian)

5. *Blakitny skarb Belarusi: Reki, azery, vadaskhovichy. Mast. Yu. A. Tareyeu, U. I. Tsyarentsyeu* [Blue treasure of Belarus: the Rivers, lakes, water reservoirs]. Minsk, 2007, 480 p. (in Belarusian)
6. Matveyev A. V., Gurskiy B. N., Levitskaya R. I. *Relyef Belorussii* [Relief of Belarus]. Minsk, University Publ., 1988, 320 p. (in Russian)
7. *Geologiya Belarusi* [Geology of Belarus]. Minsk, Institute of Geological Sciences of the NAS of Belarus Publ., 2001, 816 p. (in Russian)
8. *Obzor podzemnykh vod Minskoy oblasti. Tom II. Burovyye na vodu skvazhiny. Dzerzhinskiy rayon* [Overview of underground waters of Minsk region. Vol. II. Drilling on water holes. Dzerzhinskiy region]. Minsk, 1976. (in Russian)

#### Информация об авторах

Анцух Юлия Петровна – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: jyulga@yandex.by

Савич-Шемет Оксана Григорьевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: savichoks@yahoo.ru

Гапанович Екатерина Валерьевна – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: kat@tut.by

#### Information about the authors

Yuliya P. Antsukh – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny str., 220076, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jyulga@yandex.by

Oksana G. Savich-Shemet – Ph. D. (Geography), Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny str., 220076, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: savichoks@yahoo.ru

Ekaterina V. Gapanovich – Ph. D. (Technical), Leader Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: kat@tut.by

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2020-2-33-43>

УДК 553.97:502.171:556.56

Поступила в редакцию 15.10.2020

Received 15.10.2020

## ОБОСНОВАНИЕ ВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА УРОВНЕВОГО РЕЖИМА ГРУНТОВЫХ ВОД НА ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ТОРФЯНИКАХ ПРИПЯТСКОГО ПОЛЕСЬЯ

О. Н. Ратникова, И. П. Лисицына, И. В. Агейчик

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

**Аннотация.** На основании анализа геоморфологических, стратиграфических и разновременных гидрологических карт Полесья, зон влияния мелиоративных каналов, карт растительности, современных спутниковых снимков, а также полевых исследований торфяников Припятского Полесья выявлены две независимые системы осушения, с сетью мелиоративных каналов, интенсивно сбрасывающих воду в р. Ствигу и р. Убортъ.

В ГИС-формате построены карты ключевых точек, на которых в полевых условиях заложены пять площадок в пределах торфяных месторождений Межч и Нересня для дальнейшего долгосрочного мониторинга параметров УГВ. Места установки датчиков основаны на взаимосвязи болотных фитоценозов со среднегодовыми значениями УГВ и амплитуды их колебаний.

Анализ параметров УГВ до и после проведения мероприятий экологической реабилитации позволит оценить эффективность планируемых мероприятий на нарушенных участках и получить новые данные на участках торфяных месторождений в естественном состоянии.

**Ключевые слова:** торфяное месторождение; болото; мониторинговая площадка; уровень грунтовых вод; категории нарушенности торфяных месторождений (участков).

**Для цитирования.** Ратникова О. Н., Лисицына И. П., Агейчик И. В. Обоснование ведения мониторинга уровневого режима грунтовых вод на восстанавливаемых торфяниках Припятского Полесья // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 33–43.

## RATIONALE FOR MONITORING GROUNDWATER LEVELS IN THE REHABILITATED PEATLANDS OF PRIPYAT POLESIE

O. N. Ratnikova, I. P. Lisitsyna, I. V. Ageichik

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**Abstract.** Based on studies of geomorphology, stratigraphy, hydrology, various maps of Polesie, zones of influence of amelioration canals, vegetation maps, modern satellite images, as well as field studies of peatlands of Pripyat Polesie, two independent drainage systems have been identified, with a network of amelioration canals that intensively discharge water into the rivers Stwiga and Ybort'.

Maps of key points were built In GIS-format, on which five sites were laid in the field within the Mezhch and Neresnya peat deposits for further long-term monitoring of GWL parameters. The locations of the sensors installation are based on the relationship of bog phytocenoses with the average annual GWL values and the amplitude of their fluctuations.

Analysis of the GWL parameters before and after environmental rehabilitation measures will allow assessing the effectiveness of planned measures in disturbed areas and obtaining new data on areas of peat deposits in their natural state.

**Keywords:** peatland; bog; monitoring site; groundwater level; categories of disturbance of peatlands (sections).

**For citation.** Ratnikova O. N., Lisitsyna I. P., Ageichik I. V. Rationale for monitoring groundwater levels in the rehabilitated peatlands of Pripyat Polesie. *Nature Management*, 2020, no. 2. pp. 33–43.

**Введение.** В междуречье Припяти, Ствиги и Убортъ создан Припятский ландшафтно-гидрологический заповедник: 3 июня 1969 г. принято Постановление Совета Министров БССР № 200 «Об организации Припятского государственного ландшафтно-гидрологического заповедника» площадью 61,5 тыс. га. Со временем площадь заповедника увеличивалась: в 1989 г. добавилось более 2 тыс. га, в 1992 г. – более 1 тыс. га и вместе с ней появилась хозяйственно-заповедная зона. Национальным парком «Припятский» заповедник стал по распоряжению № 298рп Президента Республики Беларусь от 2 октября 1996 г.: «В целях сохранения уникальных природных комплексов Полесья, развития производственно-хозяйственной базы, создания условий для решения социально-экономических задач населения».

Территория Национального парка «Припятский» представлена лиственными лесами в основном первой надпойменной террасы, которые характеризуются большим разнообразием: широко распространены дубравы, ясенники, производные от них мелколиственные насаждения, чередующиеся в понижениях с черноольшанниками, ивовыми кустарниками и низинными болотами. Средняя полоса парка представлена крупнейшим в Европе массивом переходных и верховых болот «Межч–Кандель–Яловец–Ольхово» площадью более 30,0 тыс. га. Переходные болота покрыты насаждениями березы пушистой, верховые – низкорослой сосной, также встречаются открытые пространства. В переходной полосе от болот к суходолам и вдоль водотоков произрастают островные ельники – реликты среднего голоценового периода [1].

Начало осушения исследуемой территории Припятского Полесья относится к середине XIX в. Западной экспедицией под руководством И. Н. Жилинского и И. К. Августиновича, которой предусматривалось интенсивное осушение болот с лугопастбищным использованием осущенных земель. В этот период считалось, что стоячая вода занимает огромные пространства, оказывает вредное воздействие на климат, затрудняет развитие сельского хозяйства в регионах и не способствует увеличению производительности. Для разрешения Полесских проблем были разработаны мероприятия по достаточно быстрому удалению значительных объемов избыточных вод с ряда крупных массивов и использование этих земель под сенокосы и пастбища. Однако построенные осушительные системы были малоэффективны, так как среднее расстояние между регулирующими каналами составляло более 1 км при глубине 1,1 м [1, 2].

Две мировые войны вынудили на время забыть о мелиорации, вновь об этом заговорили в 1960-е годы. Для выполнения мелиоративных работ в Полесье в 1954 г. пересмотрели и уточнили схему осушения и освоения земель Полесской низменности. Интенсивная гидротехническая мелиорация рассматриваемой территории Припятского Полесья затронула бассейны рек Припяти и Уборти и повлекла за собой огромные экономические и экологические проблемы в настоящее время.

Также огромный экологический ущерб приносят торфяные пожары, которые устойчивы к тушению и способны тлеть на протяжении нескольких лет. При таком возгорании пламя видно не всегда, подземное выжигание торфяной залежи протекает с постоянным едким дымом. Наиболее часто пожары возникают на высохших сфагновых болотах, где уровень грунтовых вод (УГВ) большую часть года находится на 0,4 м ниже поверхности земли [3].

Для сохранения дикой природы центральной части Полесья и устранения, непосредственных для нее угроз в 2018 г. общественная организация Ахова птушак Бацькаушчыны (АПБ) начала реализацию трансграничного природоохранного проекта «Полесье – дикая природа без границ», донором которого выступает Франкфуртское зоологическое общество. Укрепление охраны природы решается в первую очередь по средствам оценки возможности реализации работ по восстановлению нарушенного гидрологического режима водно-болотных угодий в регионе биосферного резервата ЮНЕСКО «Припятское Полесье» с подбором пилотных объектов [4].

Экологическая реабилитация нарушенных торфяных месторождений обеспечивает восстановление их биосферных функций, в том числе ежегодный прирост растений-торфообразователей и накопление торфа, а также способствует стабилизации пожароопасной обстановки территории. Основной целью планирования мероприятий экологической реабилитации нарушенных торфяных месторождений является повышение УГВ равномерно по всей площади восстанавливаемого участка. При этом среднее значение УГВ должно составлять не более 0,20 м ниже поверхности земли на всем восстанавливаемом объекте [5].

Цель работы – выявить участки торфяных месторождений разной категории нарушенности на территории Припятского Полесья для организации системы долгосрочного мониторинга основных параметров УГВ в течение месяца, меженного периода и гидрологического года до и после проведения мероприятий экологической реабилитации.

Для достижения данной цели решены следующие задачи:

- изучены геоморфология, стратиграфия, гидрология, современные спутниковые снимки, состояния поверхности торфяных месторождений на территории Припятского Полесье;
- проанализирована действующая сеть осушительной системы каналов, а также исторические гидрографические карты Полесья («Карта бассейна р. Припять 1874 года», «Карта Полесья 1874 года» и «Гидрографическая карта Полесья 1898 года»);
- выявлены площадки и установлены датчики УГВ на торфяных месторождениях (участках) разной категории нарушенности.

**Основная часть.** Исследуемая территория Припятского Полесья включает в себя торфяные месторождения разного типа торфяной залежи. Объектами исследования являются торфяные месторождения Межч, Нересня, Синьковское и болото Синьковское ([www.peatlands.by](http://www.peatlands.by)) с независимыми между собой системами осушения, расположенные в Лельчицком и Житковичском районах Гомельской области. Общая площадь восстанавливаемой территории составляет около 16,7 тыс. га. На данных территориях проведены полевые исследования, проанализированы карты растительности, нарушенности экосистем, зон влияния мелиоративных каналов проектной территории Припятского Полесья, разработанные сотрудниками Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича.

ча НАН Беларуси [1], а также гидрографические карты Полесья разных лет. Поскольку растительный покров болотных фитоценозов прекрасно дешифрируется по космическим снимкам, были изучены доступные интернет-геопорталы (GoogleEarth, Yandex и др.) и аэрофотосъемки территории Республики Беларусь (Геоинформационный ресурс данных ДЗЗ). В ГИС-формате созданы карты ключевых площадок мониторинга УГВ на участках торфяных месторождений разной категории нарушенности, на которых установлены автоматические датчики УГВ, проведены замеры уровней, а также отобран торф из торфяной залежи для дальнейшего лабораторного анализа.

Согласно геоморфологическому районированию объекты исследования находятся на Лунинецкой аллювиальной низине и Лельчицкой водно-ледниковой равнине. Район расположен в междуречьях рек Ствиги, Припяти и Уборти. В морфоструктурном плане район приурочен к южной части Припятского прогиба с отметками фундамента –2500...–4500 м. Мощность антропогенного чехла составляет 30–80 м. Абсолютные отметки поверхности равнинны изменяются в пределах 132–167 м. Относительно приподнятая плоская поверхность водно-ледниковой равнинны с отметками 132–160 м занята заболоченными слабовогнутыми понижениями и отдельными эоловыми грядами, высота которых достигает 8 м. Густота эрозионного расчленения составляет около 0,4 км/км<sup>2</sup>. Река Убортъ разделяет территорию района на западную и восточную части. Пойменные долины местами сливаются с заболоченными массивами и, как правило, слабо выражены в рельефе – ширина от 0,5 до 3,0 км. Площадь водосбора – 5820 км<sup>2</sup>. Основная часть рек района относится к типу слабо эродируемых с малыми расходами (до 10 м<sup>3</sup>/с), со слабым водотоком. Среди водно-ледниковой поверхности местами встречаются фрагменты пологоволнистой равнинны. Одной из особенностей района является значительная заболоченность, часть болот мелкозалежные, но на основной площади развиты болота с мощным пластом малоразложившегося торфа. Отдельные формы их объединяются в сложные системы гряд с дефляционными котловинами. Некоторые из них диаметром до 2,5 км заболочены. Из числа антропогенных преобразований большое место занимает гидротехническая мелиорация, которая вызывает увеличение густоты расчленения и способствует интенсивности эоловых процессов [6, 7].

Водное питание торфяного месторождения Межч происходит за счет атмосферных осадков и стока воды с прилегающих суходолов. Подстилающим минеральным грунтом является мелкозернистый песок. Площадь торфяного месторождения в нулевых границах составляет 21 923,2 га, средняя глубина торфяной залежи – 1,86 м. По характеру строения торфяной залежи торфяное месторождение можно отнести к верховому, за исключением южной части, где залегает залежь низинного типа. Болотные фитоценозы в древесном ярусе представлены в западной части березой ( $h = 2$ –3 м,  $d = 4$ –5 см,  $P = 0,3$ ), в восточной и центральной частях – сосной ( $h = 3$ –6 м,  $d = 4$ –8 см,  $P = 0,5$ –0,7). Травяной, полукустарниковый и кустарниковый ярус на всей площади сложен осокой, тростником, багульником, кассандрией, клюквой и подбелом. Моховой покров представлен гипновыми и сфагновыми мхами. Микрорельеф кочковатый, кочки сфагновые ( $h = 0,1$ –0,2 м,  $d = 0,3$ –0,5 см), покрывают 20 % площади [8].

Торфяное месторождение расположено на склоне долины р. Припять – правого притока р. Днепр – основной водной артерии юга Беларуси. Общая длина реки – 761 км и около 72 % ее протекает по территории республики. Средний уклон составляет 0,00009. Долина Припяти широкая. В районе исследования она составляет около 4–6 км [7].

Установлено, что первыми осушительными каналами были канал «Туровский» (сейчас канава «Крушинная»), протекающий в восточной части торфяного месторождения вдоль нулевой границы, а в северной части – канава «Главная» и канал «Бычок». Для более интенсивного осушения месторождения параллельно существующим каналам было запланировано в 1874 г. и уже в 1898 г. реализовано строительство дополнительных каналов в центральной части (рис. 1, а).

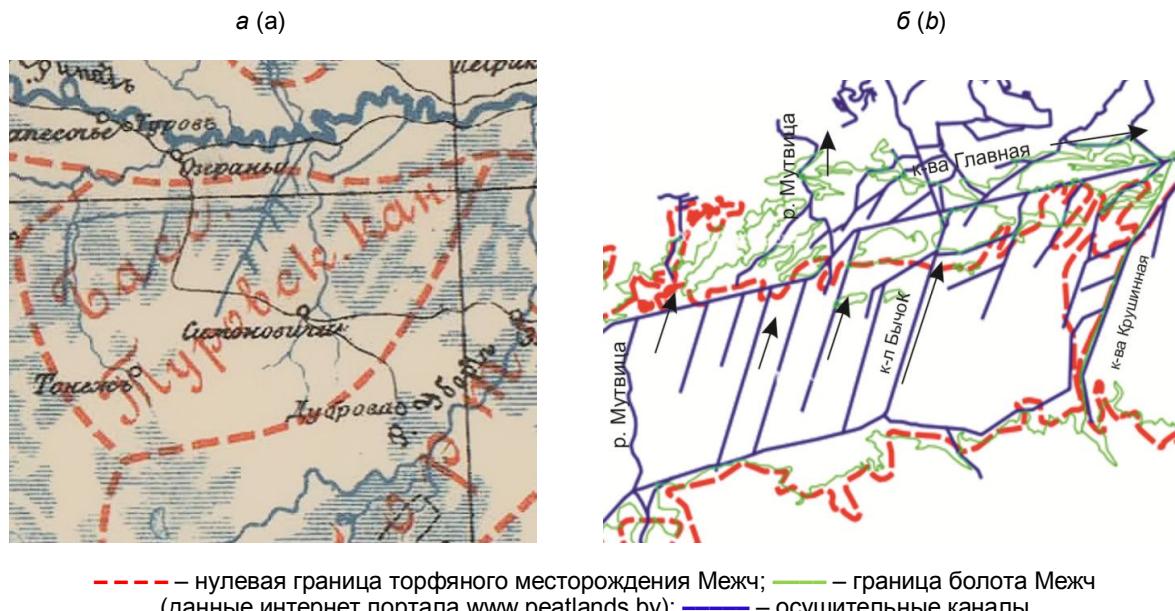
Современная система осушения представлена на рис. 1, б. Водоприемниками являются р. Мутвица, канал «Бычок» и канава «Крушинная» с общим направлением течения с юга на север в р. Припять.

Мелиоративная система канала «Бычок» расположена в центральной и восточной частях месторождения. Данная система сбрасывает воды с осушаемых территорий в р. Ствигу. Общая длина сети составляет 88,8 км, и система осушает центральную часть торфяного месторождения Межч. Расстояние между каналами составляет 0,9–1,7 км. В состав системы входят: водоприемник – канал «Бычок» (24,0 км), два магистральных канала (18,1 км), двенадцать каналов-осушителей первого порядка (57,4 км), два канала-осушителя второго порядка (2,5 км) [8]. Река Мутвица протекает по западной части торфяного месторождения. Ширина реки – 3–5 м, глубина – 0,5–1,0 м, берега – заросли кустарника.

Восточную часть массива дренирует канава «Крушинная» (21,8 км), с системой осушительных каналов, расположенных на расстоянии 0,05–2,00 км и осушает восточную часть болотного массива «Межч–Кандель–Яловец–Ольхово». Ширина канавы – 3–4 м, глубина – до 1,2 м.

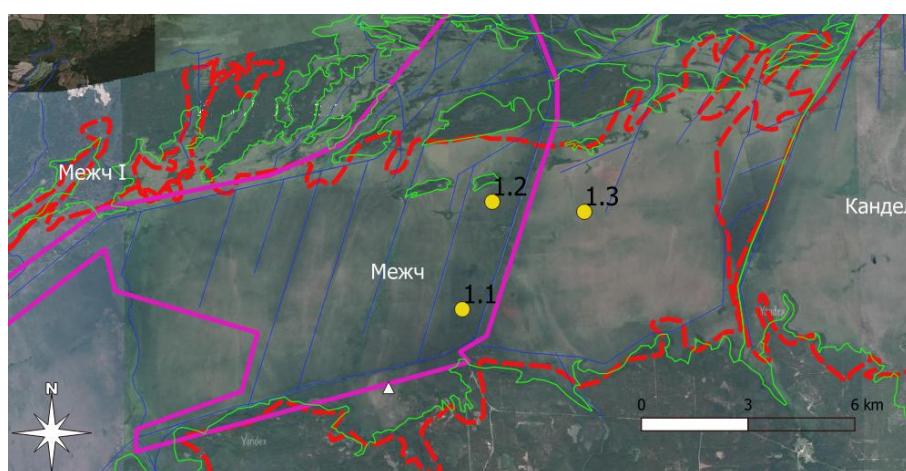
Современный растительный покров служит индикатором водного режима торфяного месторождения. В результате исследований осушительных каналов и произрастающих болотных фито-

ценозов установлено, что наиболее интенсивный отток воды происходил в центральной части торфяного месторождения Межч по каналу «Бычок». Понижение УГВ вдоль осушительных каналов привело к изменению в видовом составе болотных фитоценозов: замещению нижних ярусов на высшие. Данные изменения прослеживаются на снимке (рис. 2): насыщенность цвета увеличивается вдоль каналов. Для анализа последствий гидротехнической мелиорации и эффективности планируемых мероприятий экологической реабилитации на торфяном месторождении Межч заложены три площадки разной категории нарушенности (площадки 1.1–1.3) (рис. 2). На каждой из площадок отобран торф в 1-метровом слое торфяной залежи и установлены датчики УГВ.



**Рис. 1. Осушительная сеть торфяного месторождения Межч:**  
а – бассейн р. Припяти в 1874 г.; б – современная осушительная сеть

**Fig. 1. Drainage network of the peatland Mezhch:**  
a – basin of the Pripyat in 1874; b – modern drainage network



**Рис. 2. Схема расположения датчиков УГВ на мониторинговых площадках 1.1–1.3 торфяного месторождения Межч (спутниковый снимок Yandex)**

**Fig. 2. Diagram of the location of GWL sensors on the monitoring sites 1.1–1.3 of the peatland Mezhch (satellite snapshot of Yandex)**

*Площадка 1.1. Геоботаническая характеристика площадки: ЛЕСНАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ – МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ЛЕСА – Повислоберезовые (*Betula pendula*) леса – 8. Березовые вейниково-кустарничково-долгомошные (*Vaccinium myrtillus*, *V. uliginosum*, *Calamagrostis canescens*, *Carex nigra*, *Ledum palustre*, *Molinia caerulea*, *Polytrichum commune*) на осущенных землях [1].*

По данным разведки [9] на площадке 1.1 верхний 0–2,5-метровый слой торфяной залежи представлен пушицево-сфагновым видами торфа со степенью разложения 20–30 % и зольностью 2,83–3,72 %, нижний 2,5–3,0-метровый слой – осоковый переходный со степенью разложения 35 % и зольностью 4,03 %, подстилающей породой является песок.

На основании исследований, площадка 1.1 отнесена к III категории нарушенности торфяных месторождений (участков), состояние которой оценивается как сильно нарушенное (критическое). Действие осушительного канала «Бычок» в восточной и южной частях площадки на расстоянии около 600 м от места установки датчика привело к интенсивному приросту древесного яруса. В октябре 2020 г. после интенсивных осадков УГВ составил около 0,5 м ниже поверхности земли. Такое положение УГВ является критическим для произрастания болотных фитоценозов. Произрастающие фитоценозы не соответствуют фазе развития болота, так как верхний слой торфяной залежи представлен пушицево-сфагновым видом торфа.

*Площадка 1.2. Геоботаническая характеристика площадки: МЕЛКОЛИСТВЕННЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ЛЕСА – Повислоберезовые (*Betula pendula*) леса – 8. Березовые вейниково-кустарничково-долгомошные [1].*

Согласно классификации категорий нарушенности торфяных месторождений исследуемый участок относится ко II категории [5]. Состояние участка оценивается как слабо нарушенное (способно к восстановлению). На основании полевых исследований установлено, что действие осушительных каналов с трех сторон исследуемой площадки привело к замещению нижних ярусов на высшие. Все эти изменения прослеживаются по мере уменьшения древостоя и густоты облесения от площадки 1.2 к площадке 1.1. УГВ в октябре 2020 г. на площадке 1.2 составило 0,2 м ниже поверхности земли, которая расположена на расстоянии 680 м от канала «Бычок». Повышению УГВ способствовала построенная бобровая плотина, которая, безусловно, изменила условия произрастания болотных фитоценозов.

Для сопоставления данных и последующего анализа эффективности мероприятий экологической реабилитации выбрана площадка 1.3. Геоботаническая характеристика площадки: ВЕРХОВЫЕ (ОЛИГОТРОФНЫЕ) БОЛОТА – 14. Кустарничково-сфагновые (*Andromeda polifolia*, *Oxycoccus palustris*, *Eriophorum vaginatum*, *Sphagnum magellanicum*, *Sph. angustifolium*) с редкой *Pinus sylvestris* f. *litwinowii* ( $h = 2\text{--}3$  м, сомкнутость 0,1–0,2) [1]. Верхний 0–0,5-метровый слой торфяной залежи представлен магелланикум торфом (степень разложения – 18 %, зольность – 2,42 %), на глубине 0,5–2,5 пушицево-сфагновым (верховым) (степень разложения – 25–30 %, зольность – 2,29–3,29 %) и в нижнем 0,5-метровом слое осоковым (переходным) торфом (степень разложения – 35 %, зольность – 4,77 %) [9].

Полевые исследования показали, что площадка 1.3 находится в естественном состоянии. УГВ расположен 0,1 м ниже поверхности земли, что способствует произрастанию болотных фитоценозов, развитию процессов образования и накопления моховой подгруппы торфа.

В комплексе с положительными формами Лельчицкой водно-ледниковой равнины выступают котловины выдувания, имеющие круглую или овальную формы. В начальный период своего образования котловины послужили местом начала торфообразования, со временем эти месторождения слились воедино и стали представлять один болотный массив – Синьковский (рис. 3), который включает торфяные месторождения Нересня и Синьковское. Торфяное месторождение Нересня и южная часть – болото Синьковское – расположены в бассейне р. Уборти, месторождение Синьковское – на водоразделе рек Уборти и Ствиги.

Первое упоминание об осушении исследуемой территории относится к 1898 г. В то время было прорыто множество осушительных каналов на торфяном месторождении Малашевичи, которое примыкает с юга-востока к объектам исследований. Осушение проектной части торфяных месторождений проходило позже – в 1960-е годы.



— нулевая граница торфяного месторождения; — граница болот (www.peatlends.by);  
— граница каналов; Δ0 – участки замеров расхода воды в каналах; 2.1○ – мониторинговые площадки

Рис. 3. Современная осушительная сеть объекта Топиловский

Fig. 3. Modern drainage network of the object Topilovsky

Осушительные каналы берут свое начало в границах торфяных месторождений и болот, образуя четыре независимые системы «0»–«4», и далее за пределами проектной территории протекают по системе каналов торфяного месторождения Милашевичи (сельскохозяйственного использования) с направлением течения с севера-запада на юго-восток, и отводят воду в водоприемник р. Уборти. На выходе из осушительных систем сотрудниками АПБ проведены замеры каналов, определены скорость и расход воды для выявления наиболее критических точек осушения. Данные исследований представлены в табл. 1, из которой видно, что наиболее интенсивный расход воды происходит на сильно нарушенном участке в системе осушения 4, меньшие расходы – в системах 1 и 2.

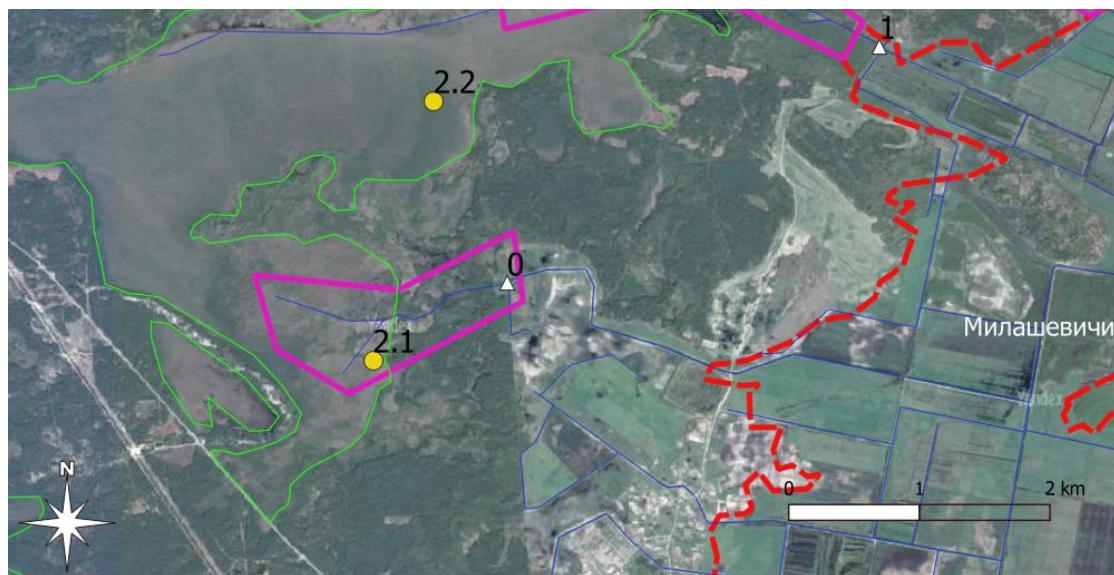
**Таблица 1. Характеристика каналов и расход воды в осушительных системах болота Топиловское (измерения на 10.03.2020 г.) (данные АПБ)**

**Table 1. Characteristic of the channels and flow of water in the drainage systems of the bog Topilovskoe (measurement on 10.03.2020) (data APB)**

Название системы	Глубина слоя воды в канале, м	Ширина канала, м	Скорость течения воды в канале, м/с	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч
Система 1 точка 0	0,29	1,75	0,16	291,62
Система 2 точка 1	0,37	2,15	0,21	602,16
Система 3: точка 2	0,21 0,22	0,75 0,75	0,53 0,72	290,09 416,67
точка 5	0,13	1,85	0,14	Всего: 706,77 127,87
Система 4: точка 3 точка 4	0,61 0,03	4,00 0,32	0,12 0,05	1446,39 1,20

Расход воды в этой системе осушительных каналов 3 составлял 282 м<sup>3</sup>/ч на 15.02.2020 г. и увеличился до 1446 м<sup>3</sup>/ч на 10.03.2020 г. Такие расходы воды связаны, прежде всего, с системой каналов, используемых для промышленного осушения, глубина которых составляет 0,61 м, а ширина – 4,0 м, проложенных до минерального дна. Уменьшение геометрических характеристик сетки каналов приводит к уменьшению их расходов, это видно из данных измерений в системе 1. Исследования показали, что изменения болотных фитоценозов на участке имеют место только лишь в зоне влияния мелиоративных каналов. Незначительные глубина и ширина каналов в системах 1 и 3 не привели к нарушению в произрастании болотных фитоценозов, однако отток воды в водоприемник происходит. На данных участках не зарегистрировано ни одного лесного пожара в отличие от системы 2.

**Система 1.** Система состоит из двух осушительных каналов общей длиной 2,4 км (рис. 4), расположенных в южной части болотного массива Синьковский за пределами нулевой границы торфяных месторождений Синьковское. На выходе из системы точка 0 расход воды в канале составляли 203 м<sup>3</sup>/ч (15.02.2020 г.) и 292 м<sup>3</sup>/ч (10.03.2020 г.). Незначительное увеличение расхода воды в марте месяце по неглубоким каналам, заросшим болотной растительностью, безусловно, сдерживало интенсивный отток воды ранней весной 2020 г. Средние значения температуры в Лельчицком районе (данные гр5.ru) в январе, феврале и марте составили +0,7 (что на 4,21 выше средней температуры за последние 6 лет наблюдений), +1,9 °C и +5,6 °C соответственно. В данной осушительной системе выбрано две площадки для полевого обследования – 2.1 и 2.2.



— нулевая граница торфяного месторождения Милашевичи; — граница болота Топиловское ([www.peatlends.by](http://www.peatlends.by)); — осушительные каналы; — граница восстанавливаемого участка системы осушения 1; Δ0 — участки замеров расхода воды в канале; 2.1 — мониторинговая площадка

Рис. 4. Схема расположения датчиков УГВ на мониторинговых площадках 2.1 и 2.2 торфяного месторождения Топиловское

Fig. 4. Diagram of the location GBL sensors on the monitoring sites 2.1 and 2.2 of the peatland Topilovskoe

**Площадка 2.1.** Согласно классификации категорий нарушенности торфяных месторождений исследуемый участок относится ко II категории, состояние которого оценивается как слабо нарушенное. На данный участок оказывает влияние одиночный неглубокий канал. Расстояние от исследуемой площадки до канала составляет 120 м. Полевое обследование современного состояния болотных фитоценозов показало, что УГВ расположен 0,4 м выше поверхности земли, однако данный участок интенсивно зарастает древесной растительностью.

**Площадка 2.2.** На данной площадке нет осушительных каналов. Она находится вне зоны влияния каналов. В период исследований (октябрь 2020 г.) УГВ составил 0,3 м выше поверхности земли. Данные условия способствуют произрастанию болотных фитоценозов, однако торф не накопился.

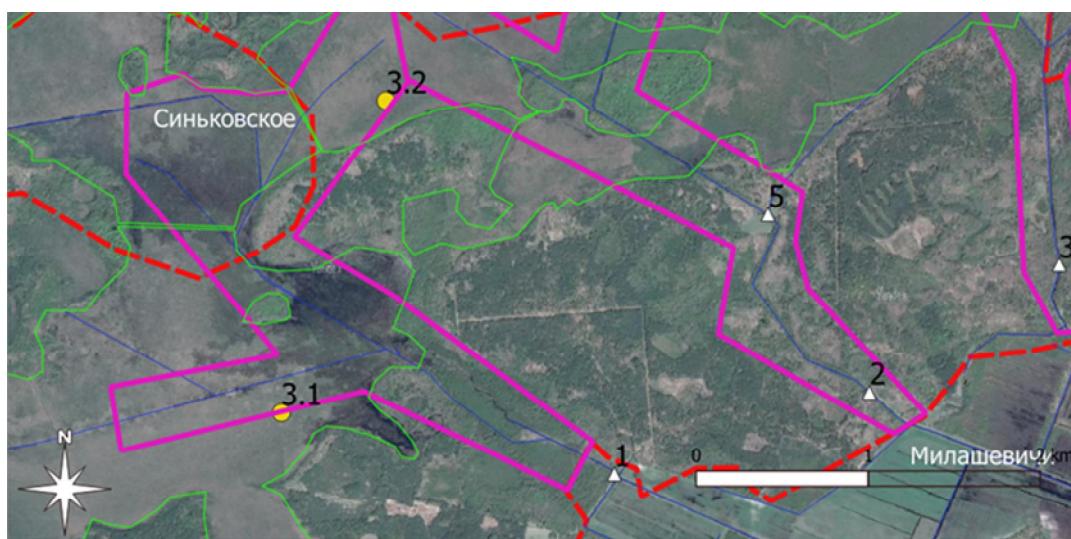
**Система 2.** Торфяное месторождение Синьковское расположено на водоразделе рек Струги и Уборти. В начальный период своего образования болото Синьковское представляло собой три отдельных болота, которые в процессе развития слились воедино и стали представлять целостный торфяной массив. Рельеф дна месторождения неровный с отдельными впадинами, которые в начальный период и послужили местом начала торфообразования. Северная и южная части торфяного месторождения образовались на месте бывших водоемов, о чем свидетельствует наличие сапропеля в нижних слоях торфяной залежи. Процессы торфообразования в этом понижении протекали по всем правилам развития болотного массива бессточной котловины. Сточные воды в котловине поступали с окружающих его более возвышенных территорий, поэтому над слоем сапропеля у самого дна образовался торф осокового и тростникового видов (степень разложения торфа – 30–35 %, зольность – 10–28 %), и уже через некоторое время произошла смена эвтрофной растительности на мезотроф-

ную, а затем на олиготрофную. Верхние слои торфяной залежи сложены магелланикум торфом со степенью разложения – 10–15 % и зольностью 3–4 %.

В юго-восточной части исследуемого торфяного месторождения болотообразовательный процесс немного отличается. Здесь дно котловины несколько выше, чем в северной и южной частях месторождения, но площадь водосбора значительно больше ее собственной площади. Обильное водно-минеральное питание способствовало образованию торфа осокового низинного вида. Когда рельеф болота практически выровнялся, количество поступающей воды уменьшилось, в верхних слоях торфяной залежи начал откладываться слой шейхцериево-сфагнового торфа. Мощность торфяной залежи в этой части торфяного месторождения составляет 1,2–2,2 м, степень разложения – 20–30 %, зольность – 7–12 %, торфяная залежь подстилается песком. Рельеф прилегающих суходолов ровный, покрытый смешанным лесом [10].

Водоприемником служит ручей без названия, протекающий в северо-западной части. На месторождении он имеет вид заросшей канавы с направлением течения с востока на запад. За пределами массива канава переходит в реку шириной 5–10 м, глубиной 1,0–1,6 м и далее в р. Стыгиу. Центральную и юго-западную части дренирует ручей с направлением течения с запада на юго-восток и далее по мелиоративной системе торфяного месторождения Милашевичи, впадающий в р. Убортъ.

Длина каналов осушительной системы 2 составляет около 20 км, что позволяет быстро сбрасывать воду. Расход воды на выходе из системы (рис. 5, точка 1) составляет  $158 \text{ м}^3/\text{ч}$  (15.02.2020 г.), в паводковый период расход воды –  $602 \text{ м}^3/\text{ч}$  (10.03.2020 г.).



— нулевая граница торфяного месторождения Синьковское; — граница болота Топиловское ([www.peatlands.by](http://www.peatlands.by)); — осушительные каналы; — граница восстанавливаемого участка; Δ5 – участки замеров расхода воды в канале; 3.1 — мониторинговая площадка

**Рис. 5. Схема мониторинговых площадок 3.1 и 3.2 торфяного месторождения Топиловское**

**Fig. 5. The arrangement of the monitoring sites 3.1 and 3.2 of the peatland Topilovskoe**

Площадки 3.1 и 3.2 (рис. 5) практически идентичны по составу болотных фитоценозов и характеру УГВ, однако они находятся в разных системах осушения. Для анализа эффективности мероприятий по экологической реабилитации достаточно проводить измерения УГВ 2 раза в месяц в течение всего года: до и после осуществления работ по экологической реабилитации на этих двух площадках. Измерения необходимо проводить в зоне действия осушительных каналов, причем на площадке 3.1 в 2019 г. произошел пожар, повредивший практически 60 % территории. Расход воды на выходе из системы осушительных каналов составлял  $267 \text{ м}^3/\text{ч}$  на 15.02.2020 г. и увеличился до  $707 \text{ м}^3/\text{ч}$  на 10.03.2020 г. Очень важно проследить, как быстро восстанавливаются болотные фитоценозы после пожара, особенно в моховом ярусе, после проведения экологической реабилитации.

Площадка 3.1. Согласно классификации категорий нарушенности торфяных месторождений исследуемый участок относится ко II категории, состояние которого оценивается как слабо нарушенное. На данный участок оказывает влияние система 2. Существенное влияние на нарушенность данного участка также оказали пожары 2019 г. Пожар на площадке мониторинга УГВ был поверхностный, глубина горения торфяной залежи составила 0,1 м.

**Площадка 3.2.** Согласно классификации категорий нарушенности торфяных месторождений исследуемый участок относится ко II категории состояния, которого оценивается как слабо нарушенное. На данный участок оказывают влияние две системы (Система 1 и Система 2).

Торфяное месторождение Нересня разделено суходолами на две части (западную и восточную). В западной части дренируют каналы системы 3 (рис. 6), восточную часть – системы 4 (рис. 7). Торфяная залежь представлена низинными и переходными видами торфа. В связи с тем, что осушительные системы охватывают обширные, но труднодоступные территории, на торфяном месторождении Нересня выбрали четыре площадки 4.1, 4.2, 5.1 и 5.2. В октябре 2020 г. датчики УГВ установили на площадке 5.1 и 5.2.

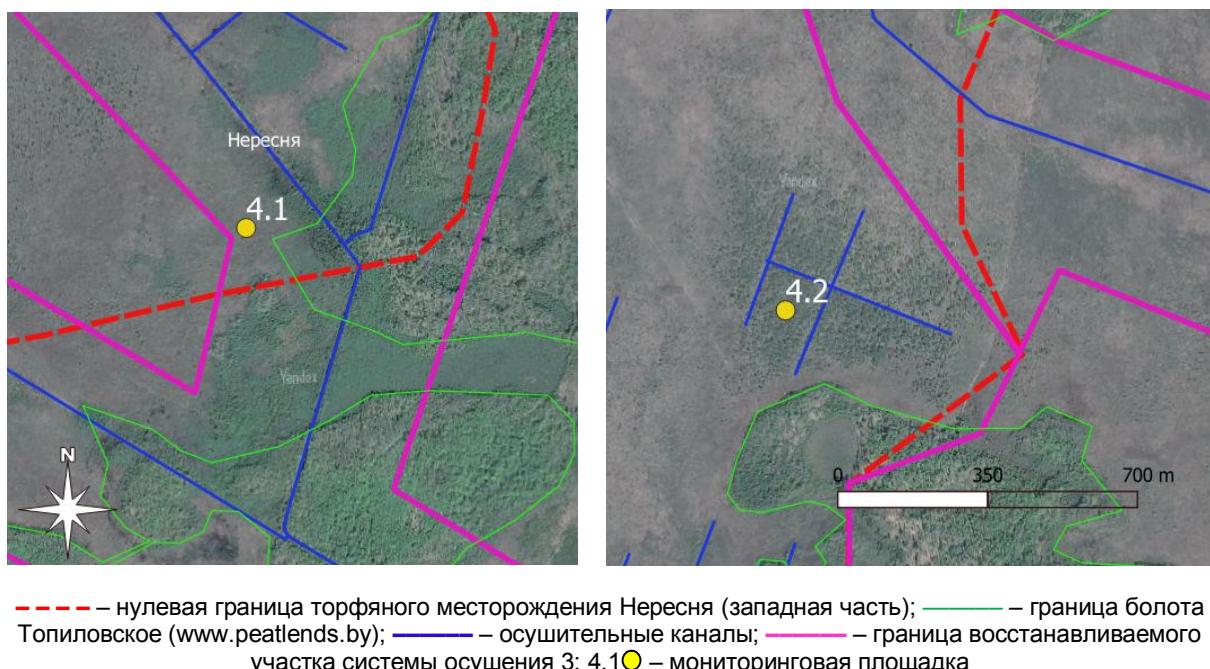


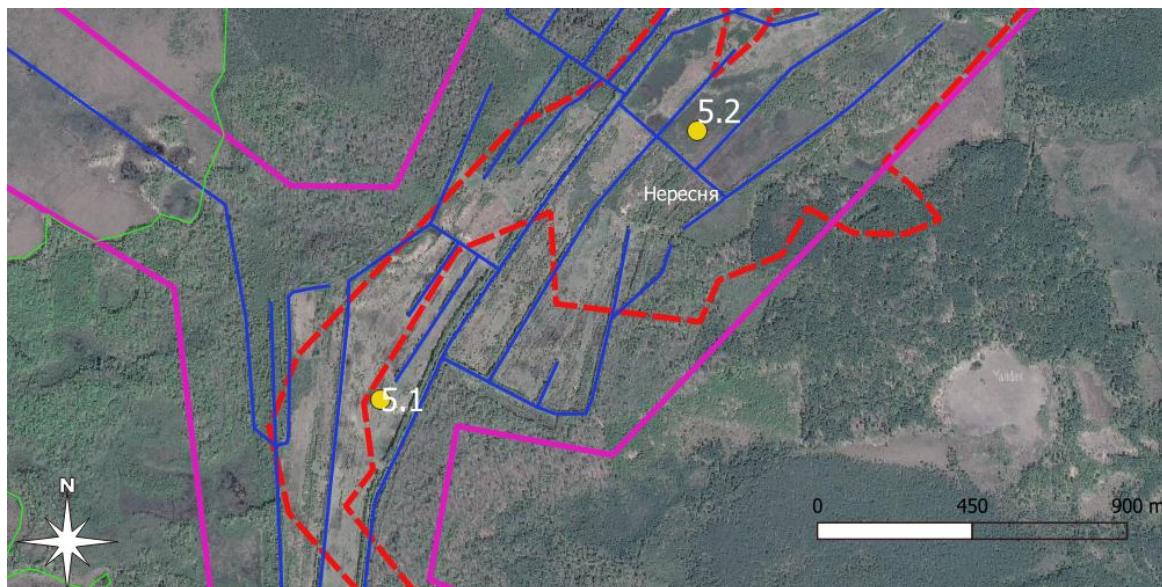
Рис. 6. Схема мониторинговых площадок 4.1 и 4.2 – болото Синьковское / торфяное месторождение Нересня

Fig. 6 The arrangement of the monitoring sites 4.1 and 4.2 – the swamp Sinkovskoe / the peatland Neresnya

**Система 3.** Общая длина каналов в этой части составляет около 22 км. Расход воды в системе 3 практически идентичен системе 2, условия развития торфяной залежи также аналогичны. Разница расходов воды связана с примыканием к системе 3 канала, который протекает по западной части системы 4 длиной 3,5 м, в нулевой границе торфяного месторождения Нереся, сбрасывает воду в объеме 127,8 м<sup>3</sup>/ч (по состоянию на 10.03.2020 г.), увеличивая при этом расходы в систему 3.

**Система 4.** Восточная часть торфяного месторождения Нересня длительное время дренируется осушительными каналами с сеткой 150 × 800 м, площадью 300 га, в настоящее время заброшена, зарастает рудеральной растительностью, березой и осиной. Восстановление болотных фитоценозов проходит крайне медленно, лишь в незначительных понижениях. На данную часть торфяного месторождения оказывает влияние система 4 (ее восточная часть) (рис. 7).

**Площадка 5.1** относится к V категории, состояние которой оценивается как сильно нарушенное (торфяная залежь не способна к самовосстановлению). На данный участок оказывает влияние сеть системы каналов, расположенных на расстоянии 150 м друг от друга, зоны влияния которых перекрываются. Наличие такой схемы осушения привело к полной деградации торфяной залежи и болотных фитоценозов. Участок находится в заброшенном состоянии, лесопосадки сосны и дуба интенсивно зарастают сорной растительностью, моховой ярус отсутствует. УГВ составляет 1,0–1,2 м ниже поверхности земли на момент измерений, остаточный слой торфяной залежи – 0,9 м. Лабораторный анализ общетехнических характеристик торфа показал, что торфяная залежь по всей глубине сложена тростниковым видом торфа, степень разложения составляет 35,0–50,0 %, влажность – 74,0–78,9, зольность – 11,7–44,0 %. Неэффективное использование этого участка в лесном хозяйстве привело к вторичному засолению торфа в залежи, что подтверждено высокими значениями зольности в 0,5–0,9-метровом слое (44,0 %). Подстилающей породой является мелкозернистый песок.



— нулевая граница торфяного месторождения Нересня (восточная часть); — граница болота Топиловское ([www.peatlends.by](http://www.peatlends.by)); — осушительные каналы; — граница восстанавливаемого участка системы осушения 4; 5.1 — мониторинговая площадка

**Рис. 7. Схема расположения датчиков УГВ на мониторинговых площадках 5.1 и 5.2 – болото Синьковское / торфяное месторождение Нересня**

**Fig. 7. Diagram of the location of GWL sensors on the monitoring sites 5.1 and 5.2 – the swamp Sinkovskoe / the peatland Neresnya**

Площадка 5.2. относится к V категории нарушенности, состояние которой оценивается как сильно нарушенное (не способна к самовосстановлению). На данный участок оказывает влияние сеть систем канала, расположенных на расстоянии 150 м друг от друга. На сильно пониженных участках начинаются процессы восстановления, однако они носят локальный характер. На мониторинговой площадке в октябре 2020 г. УГВ составил 0,5 м ниже поверхности земли. Исследования свойств торфа в оставшемся 0,6-метровом слое торфяной залежи показал, что верхний 0,3-метровый слой представлен тростниковым видом торфа со степенью разложения 35,0 %, влажностью 77,0 %, зольностью 15,1 %. В нижнем 0,3–0,6-метровом слое произошло зазоление торфяной залежи, зольность торфа составила более 50,0 %.

**Заключение.** В результате исследований геоморфологии, стратиграфии, гидрологии, разнообразных карт Полесья, современных спутниковых снимков установлено, что исследуемая территория Припятского Полесья включает две независимые системы осушения, с сетью мелиоративных каналов, интенсивно сбрасывающих воду в р. Ствигу (торфяное месторождение Межч) и р. Уборть (торфяные месторождения Нересня и Синьковское) и далее в р. Припять. В ГИС-формате построены карты ключевых точек, на которых в полевых условиях заложены пять площадок в пределах торфяных месторождений Межч и Нересня для дальнейшего долгосрочного мониторинга параметров УГВ до и после проведения мероприятий экологической реабилитации. Места установки датчиков основаны на взаимосвязи болотных фитоценозов со среднегодовыми значениями УГВ и амплитуды их колебаний. Планируемые мероприятия экологической реабилитации будут способствовать задержанию воды на участках болот и благоприятно влиять на восстановление характерных болотных фитоценозов на всей восстанавливаемой территории Припятского Полесья.

#### Список используемых источников

1. Дать скрининг-оценку современного состояния нарушенных торфяников Припятского Полесья и разработать программу их восстановления на период до 2020 года : отчет о НИР (заключ.) / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т экспериментальной ботаники им. В. Ф. Курцевича ; рук. Д. Г. Груммо. – Минск, 2018. – 110 с. – № ГР 20181650.
2. Жилинский, И. И. Очерк работ Западной экспедиции / И. И. Жилинский. – СПб, 1899. – 744 с.

3. Батуев, В. И. Гидрологические обоснования методики определения необходимого количества воды при обводнении торфяников / В. И. Батуев, И. Л. Калюжный // Известия русского географического общества. – М., 2012. – Вып. 4. – С. 42–50.
4. Ахова птушак Бацькаўшчыны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ptushki.org/proj/prirodoohrannyj-proekt-dlya-polesya>. – Дата доступа: 21.04.2020.
5. Ратникова, О. Н. Гидрологический режим торфяных месторождений разной категории нарушенности / О. Н. Ратникова // Вестн. Полоцк. гос. ун-та. Сер. F, Строительство. Приклад. науки. – 2018. – № 8. – С. 225–231.
6. Рельеф Белорусского Полесья / А. В. Матвеев [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1982. – 131 с.
7. Матвеев, А. В. Рельеф Белоруссии / А. В. Матвеев. – Минск : Университетское, 1988. – 320 с.
8. План управления национальным парком «Припятский» [Электронный ресурс]. – Кн. 1. – Режим доступа: <https://www.npp.by/upload/Plan%20ypravlenij%201.pdf>. – Дата доступа: 16.07.2020.
9. Материалы маршрутной разведки торфяного месторождения Межчи / Проектно-изыск. ин-т. Ленинградское отделение, «Росторфразведка», 1951 г. – С. 25.
10. Материалы маршрутной разведки торфяного месторождения Синьковское / Проектно-изыск. ин-т. Ленинградское отделение, «Росторфразведка», 1951 г. – С. 16.

#### R e f e r e n c e s

1. *Dat' skrining-ocenku sovremennoego sostoyaniya narushennyh torfyanikov Pripyatskogo Poles'ya i razrabotat' programmu ih vosstanovleniya na period do 2020 goda : otchet o NIR (zaklyuch.)* [To give a screening assessment of the current state of disturbed peatlands of the Pripyat Polesie and to develop a program for their restoration for the period until 2020: research report (conclusion). Institut eksperimental'noj botaniki im. V. F. Kuprevicha NAN Belarusi [V. F. Kuprevich Institute of experimental botany of the National Academy of Sciences of Belarus]. Head D. G. Grummo, no. GR 20181650. Minsk, 2018, 110 p. (in Russian)]
2. Zhilinsky I. I. *Ocherk rabot Zapadnoj ekspedicii* [The essay of the works of the Western expedition]. St. Petersburg, 1899, 744 p. (in Russian)
3. Batuev V. I., Kalyuzhny I. L. *Gidrologicheskie obosnovaniya metodiki opredeleniya neobhodimogo kolichestva vody pri obvodnenii torfyanikov* [Hydrological substantiation of the method for determining the necessary amount of water when watering peat bogs]. *Izvestie russkogo geograficheskogo obshchestva* [Izvestiya Russian geographical society]. Moscow, 2012, Issue 4, pp. 42–50. (in Russian)
4. Ahova ptushak Bac'kaushchyny [APB-BirdLife Belarus] [Electronic resorce]. Available at: <https://ptushki.org/proj/prirodoohrannyj-proekt-dlya-polesya> (accessed 21 April 2020). (in Belarusian)
5. Ratnikova O. N. *Gidrologicheskij rezhim torfyanyh mestorozhdenij raznoj kategorii narushennosti* [Hydrological regime of peat deposits of different categories of disturbance]. *Vestn. Polotsk state. un-ta. Ser. F, Construction. Butt. science*, 2018, no. 8, pp. 225–231. (in Russian)
6. Matveev A. V. *Re'lef Belorusskogo Poles'ya* [Relief of the Belarusian Polesie]. Minsk, Science and technology, 1982, 131 p. (in Russian)
7. Matveev A. V. *Re'lef Belorussii* [Relief Of Belarus]. Minsk, University, 1988, 320 p. (in Belarusian)
8. *Plan ypravleniya natsional'nym parkom «Pripyatsky»*. Kniga 1 [Plan of management of the national Park 'Pripyatsky'. Book 1]. Available at: <https://www.npp.by/upload/Plan%20ypravlenij%201.pdf>. (accessed 16 July 2020). (in Russian)
9. *Materialy marshrutnoy razvedki torfyanogo mestorozdeniya Mezhchi* [Materials of the route exploration of the peatland Mezhchi]. Design And Survey. Inst. Leningrad department, 'Rostorfrazvetka', 1951, p. 25. (in Russian)
10. *Materialy marshrutnoy razvedki torfyanogo mestorozdeniya Sinkovskoye* [Materials of route exploration of the peatland Sinkovskoye]. Design And Survey. Inst. Leningrad department, 'Rostorfrazvetka', 1951, p. 16. (in Russian)

#### Информация об авторах

**Ратникова Ольга Николаевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь). E-mail: 1982ron@rambler.ru

**Лисицына Ирина Петровна** – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь). E-mail: i\_lisitsyna@list.ru

**Агейчик Инна Валерьевна** – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь). E-mail: Ageichik.iv@mail.ru

#### Information about the authors

**Olga N. Ratnicava** – Ph. D. (Technical), Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: 1982ron@rambler.ru

**Irina P. Lisitsyna** – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: i\_lisitsyna@list.ru

**Inna V. Ageichik** – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: Ageichik.iv@mail.ru

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЗАЩИЩЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОМЕЛЬСКОГО ХИМИЧЕСКОГО ЗАВОДА

О. В. Шершнёв, А. И. Павловский, А. Ф. Акулевич

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, Гомель, Беларусь

**Аннотация.** Образование отходов производства фосфорных удобрений ОАО «Гомельский химический завод» является существенным фактором воздействия на геологическую среду, что приводит прежде всего к загрязнению грунтов и подземных вод. Незначительная мощность зоны аэрации (0,5 до 5,0 м), отсутствие в ее разрезе слабопроницаемых отложений, нисходящий режим питания водоносных горизонтов создают возможность для поступления сульфатных, фосфатных и аммонийных компонентов-мигрантов в подземные воды с поверхности земли. На основе анализа фактического геологического материала дана количественная оценка защищенности напорных вод в пределах зоны влияния ОАО «Гомельский химический завод». Установлено, что она зависит от мощности слабопроницаемых отложений, их вещественного состава и соотношений уровней водоносных горизонтов. Определено время миграции загрязняющих веществ между грунтовыми и напорными водами. Выделены категории защищенности подземных вод и установлена их территориальная дифференциация. Оценены защитные свойства слабопроницаемых отложений с учетом их возможностей ослабления загрязнения подземных вод сульфатами, фосфатами и аммонием. Установлено, что моренные отложения первого слабопроницаемого слоя наиболее эффективно снижают фосфатное и аммонийное загрязнение, при этом не препятствуя миграции сульфат-ионов. Второй слабопроницаемый слой, представленный алевритами, приводит к существенному сокращению поступления загрязняющих компонентов в палеогеновый водоносный горизонт. Приведен анализ динамики концентраций сульфат-иона, которая в целом обозначила тенденцию их снижения в исследуемых водоносных горизонтах.

**Ключевые слова:** отходы фосфогипса; защищенность подземных вод; загрязнение; слабопроницаемые слои; время миграции.

**Для цитирования:** Шершнёв О. В., Павловский А. И., Акулевич А. Ф. Количественная оценка защищенности подземных вод в зоне влияния Гомельского химического завода // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 44–52.

## QUANTITATIVE ASSESSMENT OF GROUNDWATER PROTECTION IN THE ZONE OF INFLUENCED OF THE GOMEL CHEMICAL PLANT

O. V. Shershnyov, A. I. Pavlovskii, A. F. Akulevich

Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Belarus

**Abstract.** The formation of dumps from the production of phosphorous fertilizers at the JSC "Gomel Chemical Plant" is a significant factor affecting the geological environment, which leads primarily to contamination of soil and ground-water. The insignificant thickness of the aeration zone (0.5 to 5.0 m), the absence of low permeable layers in its section, and the downward aquifer recharge make it possible for sulfate, phosphate, and ammonium migrant components to enter groundwater from the surface. Based on the analysis of actual geological and hydrogeological data, a quantitative assessment of the protection of pressure water within the zone influenced by JSC "Gomel Chemical Plant" was given. It is established that their protection depends on the thickness of low permeable sediments, their material composition, and the ratio of aquifer levels. The time of migration of pollutants between groundwater and pressure water was determined. Categories of groundwater protection were identified and their territorial differentiation was established. The protective properties of low permeable sediments were evaluated, taking into account their potential to reduce groundwater contamination with sulfates, phosphates, and ammonium. It was found that the moraine deposits of the first low permeable layer most effectively reduce phosphate and ammonium contamination, while not interfering with the migration of sulfate ions. The second low permeable layer, represented by siltstones, leads to a significant reduction in the flow of pollutants into the Paleogene aquifer. Analysis of the dynamics of sulfate ion concentrations was given, which generally indicated a downward trend in the studied aquifers.

**Keywords:** phosphogypsum dumps; groundwater protection; pollution; low permeable layers; migration time.

**For citation:** Shershnyov O. V., Pavlovskii A. I., Akulevich A. F. Quantitative assessment of groundwater protection in the zone of influenced of the Gomel Chemical Plant. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 44–52.

**Введение.** Химическое производство и образуемые промышленные отходы рассматриваются в качестве одного из ведущих факторов, ответственных за загрязнение подземных вод в Республике Беларусь.

В Гомельской области научный и практический интерес вызывают твердые отходы производства фосфорных удобрений Гомельского химического завода (ГХЗ), представленные фосфогипсом. Складируемый в отвалы фосфогипс объемом свыше 21,3 млн т занимает первое место в Гомельской области и третье место в Республике Беларусь от общей величины накопленных промышленных отходов [1]. Размещенные на площади более 90 га отвалы фосфогипса – источник поступления в подземные воды высококонцентрированных растворов, в которых основными загрязняющими компонентами являются сульфаты, фосфаты и соединения азота.

Для оценки техногенного влияния на подземные воды в пределах производственной территории ГХЗ создана режимная и локальная сеть мониторинга подземных вод. Данные мониторинга и другие виды полевых геолого-гидрогеологических исследований позволили в разные годы оценить пространственные изменения химического состава подземных вод, направленность распространения загрязнения, изучить миграционные свойства основных загрязняющих веществ [2–5].

С целью обеспечения полноты проведения наблюдений за уровнями и химическим составом подземных вод за период с 2005 по 2019 г. сеть мониторинга была расширена за счет бурения новых 14 скважин на различные водоносные горизонты. Обновляемая мониторинговая информация, современные полевые геолого-гидрогеологические исследования и анализ материалов предшествующих лет позволяют уточнить глубины залегания водоносных горизонтов и мощности слабоводопроницаемых отложений. Это дает возможность выявить наиболее проницаемые для загрязняющих веществ участки и определить время их возможного поступления в подземные воды.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования являются межпластовые воды в четвертичных и палеогеновых отложениях и две перекрывающие их водоупорные толщи. Геологическое строение территории, гидрогеологические и гидрохимические параметры водоносных горизонтов были изучены по данным инженерно-геологических изысканий, режимной и локальной сети мониторинга подземных вод ГХЗ за период с 1990 по 2019 г.

Количественно защищенность межпластовых вод оценивалась на основании методики, предложенной В. М. Гольдбергом [6], согласно которой защищенность определяется временем поступления загрязненных вод из вышележащего водоносного горизонта в исследуемый горизонт через разделяющий их водоупор. В свою очередь время миграции загрязняющих компонентов зависит от коэффициента фильтрации водоупорных пород и их мощности, соотношения уровней исследуемого и вышележащего водоносных горизонтов и приближенно может быть определено по формуле (1) [6]:

$$t = \frac{m_0^2 n}{(k_0 \Delta H)}, \quad (1)$$

где  $m_0$  – мощность водоупора, м;  $n$  – активная пористость пород;  $k_0$  – коэффициент фильтрации водоупорных пород, м/сут;  $\Delta H$  – разность уровней вышележащего ( $H_1$ ) и исследуемого водоносного горизонта ( $H_2$ ), м.

На основании времени миграции можно выделить пять категорий защищенности подземных вод, которые являются сравнимыми, т. е. защищенность подземных вод тем лучше, чем выше категория градации: 1 –  $t < 1$  года, 2 –  $1 \text{ год} < t \leq 5$  лет, 3 –  $5 \text{ лет} < t \leq 10$  лет, 4 –  $10 \text{ лет} < t \leq 20$  лет и 5 –  $t > 20$  лет. Градация 1 – соответствует незащищенным водам, а градации 2–5 – условно защищенным водам. К защищенным относятся напорные воды, заключенные в водоупорах и без нарушения сплошности водоупором при  $m_0 > 10$  м и  $H_2 > H_1$  [6].

Анализ гидрогеологического строения и сложившихся гидродинамических условий показал, что для оценки защищенности межпластовых вод наиболее информативными являются скважины, размещенные кустами на три верхних водоносных горизонта, расположенные в пределах производственной зоны предприятия и отвалов фосфогипса по направлению потоков подземных вод.

Для вещественной верификации защитных свойств слабопроницаемых отложений в формуле (2) рассчитан коэффициент ослабления загрязнения для куста скважин, расположенного между отвалами фосфогипса:

$$K_0 = \frac{C_1 - C_{\Phi_1}}{C_2 - C_{\Phi_2}}, \quad (2)$$

где  $C_1$  – концентрация исследуемого компонента в вышележащем водоносном горизонте, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_{\phi_1}$  – фоновая концентрация исследуемого компонента в вышележащем водоносном горизонте, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_2$  – концентрация исследуемого компонента в нижележащем водоносном горизонте в исследуемой точке, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_{\phi_2}$  – фоновая концентрация исследуемого компонента в нижележащем водоносном горизонте, мг/дм<sup>3</sup>.

Определение концентраций исследуемых компонентов выполнялось ЦЗЛ ГХЗ [7–10].

**Результаты исследования и их обсуждение.** Незначительная мощность зоны аэрации на территории промышленного комплекса, изменяющаяся от 0,5 до 5,0 м, и отсутствие в ее разрезе слабопроницаемых отложений создают возможность для поступления загрязнения в подземные воды с поверхности земли.

Исследования прошлых лет показали, что загрязнение водоносных горизонтов происходит неодинаково. В наибольшей степени негативному воздействию подвергается грутовый водоносный горизонт, пик загрязнения которого приходится на территорию размещения отходов фосфогипса [3]. Водораздельное положение территории ГХЗ по отношению к рекам Сож и Уза обусловило питание подземных вод путем инфильтрации и перетекания из вышележащих водоносных горизонтов, в том числе за счет техногенной составляющей на участках, приуроченных к отвалам фосфогипса и производственным объектам завода. Такие гидродинамические условия могут способствовать миграции загрязняющих веществ из вышележащих горизонтов в нижележащие [4, 11].

Геологические условия территории позволяют говорить о большей защищенности межпластовых вод от загрязнения по сравнению с грутовыми.

Исследуемые межпластовые воды представлены двумя водоносными горизонтами.

Первый нижне-среднеплейстоценовый березинско-днепровский (подморенный) водоносный горизонт представлен водноледниковыми отложениями, сформированными в процессе таяния березинского и днепровского ледников. В их составе пески разнозернистые, часто глинистые, с прослойями супесей и суглинков, с включениями мелкой гальки и гравия.

Второй водоносный горизонт сформирован в разнозернистых песчаных породах палеогеновой системы.

Питание межпластовых вод происходит за счет перетекания из вышележащих горизонтов через литологические «окна» в разделяющих водоупорных отложениях, а также за счет подтока из нижележащих горизонтов в областях их разгрузки. Разгрузка осуществляется в основном в долинах рек и перетеканием в нижележащие водоносные горизонты.

Водоносные горизонты разделены двумя слабопроницаемыми слоями, гидрогеологические параметры которых характеризуются пространственной вариабельностью (табл. 1).

**Таблица 1. Показатели слабопроницаемых отложений, учитываемые при оценке защищенности межпластовых вод**

**Table 1. Indicators of low permeable sediments, included in the assessment the protection of confined aquifers**

Слабопроницаемый слой	Возраст	Индекс	Литология	$m_0$ , м	$n$	$k_0$ , м/сут
1	Средний плейстоцен	gIId	Суглинки, супеси	3,5–11,9	0,01	0,0015–0,026
2	Палеоген	P <sub>3</sub> hr	Алевриты, глины, суглинки	3,0–11,3	0,08	0,00018–0,0014

Примечание:  $m_0$  – мощность слабопроницаемого слоя,  $n$  – активная пористость породы;  $k_0$  – коэффициент фильтрации слабопроницаемых пород.

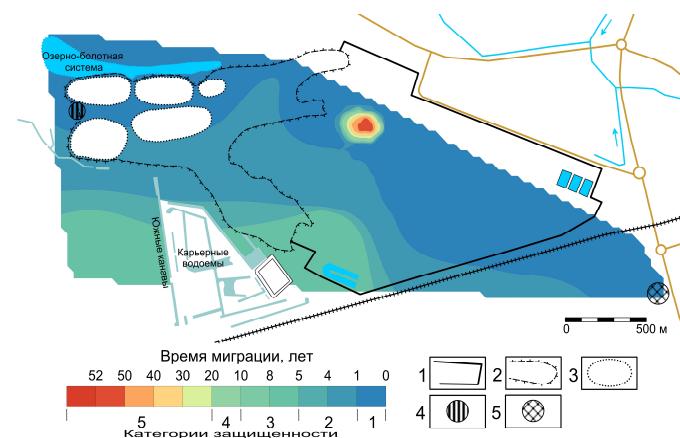
Первый слабопроницаемый слой образован среднеплейстоценовыми моренными супесчано-суглинистыми отложениями днепровской стадии оледенения. Он отделяет грутовый водоносный горизонт от нижележащего межпластового березинско-днепровского (подморенного) водоносного горизонта. Под отвалами фосфогипса его мощность составляет 7,4–9,2 м, постепенно увеличиваясь до 10,0–12,0 м в пределах производственной площадки. Разность уровней между подморенным и грутовым водоносным горизонтом изменяется от 0,03 до 1,28 м.

Второй слабопроницаемый слой разделяет подморенный и палеогеновый водоносные горизонты и сложен преимущественно алевритами палеогенового возраста. Его наибольшая мощность (9,0–11,0 м) относится к западной части отвалов и сокращается до 3,0–5,0 м на восток в сторону произ-

водственной площадки. Разность уровней между палеогеновым и подморенным водоносным горизонтом составляет 0,05–2,05 м.

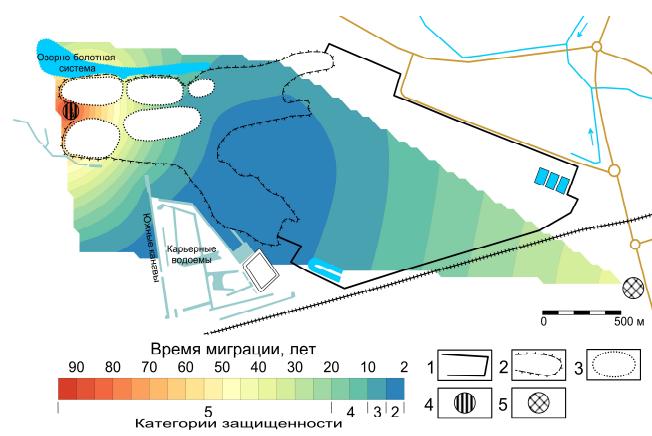
Расчет времени миграции загрязняющих веществ по формуле (1) показывает существенные различия защищенности подморенного и палеогенового водоносного горизонта, что предопределяет неодинаковую степень их загрязнения.

На значительной части исследуемой территории в пределах производственной площадки и под отвалами фосфогипса время миграции в подморенный водоносный горизонт оценивается от 20 до 300 сут. Таким образом, распространенные здесь воды относятся к категории незащищенных. Данный показатель возрастает в юго-западном направлении до 6 лет. Также обнаруживается локальный участок в северной части производственной площадки, где время миграции составляет от 2 до 50 лет, что позволяет отнести воды к условно защищенным (рис. 1).



**Рис. 1. Защищенность подморенного (березинско-днепровского) водоносного горизонта: 1 – контур промышленной площадки ГХЗ; 2 – контур отвалов фосфогипса; 3 – терриконы; 4 – куст скважин 51, 5<sup>A</sup>, 5<sup>B</sup>; 5 – куст фоновых скважин; категории защищенности: 1 – незащищенные; 2 – низкая; 3 – средняя; 4 – высокая; 5 – наиболее высокая**

**Fig. 1. The protection of the Submorainic aquifer: 1 – industrial site area; 2 – dumpsite; 3 – slagheaps; 4 – well cluster 51, 5<sup>A</sup>, 5<sup>B</sup>; 5 – background well cluster; protection classes: 1 – unprotected; 2 – low; 3 – moderate; 4 – high; 5 – the highest**



**Рис. 2. Защищенность палеогенового водоносного горизонта: 1 – контур промышленной площадки ГХЗ; 2 – контур отвалов фосфогипса; 3 – терриконы; 4 – куст скважин 51, 5<sup>A</sup>, 5<sup>B</sup>; 5 – куст фоновых скважин; категории защищенности: 2 – низкая; 3 – средняя; 4 – высокая; 5 – наиболее высокая**

**Fig. 2. The protection of the Paleogene aquifer: 1 – industrial site area; 2 – dumpsite; 3 – slagheaps; 4 – well cluster 51, 5<sup>A</sup>, 5<sup>B</sup>; 5 – background well cluster; protection classes: 2 – low; 3 – moderate; 4 – high; 5 – the highest**

Расчетное время миграции через второй слабопроницаемый слой показывает более высокую защищенность палеогенового водоносного горизонта по сравнению с подморенным (рис. 2). Минимальное время поступления загрязненных вод из подморенного водоносного горизонта в палеогеновый составляет 2,8–5,3 года, что отвечает низкой степени защищенности подземных вод. Это относится к территории центральной и южной частям промышленного комплекса. Время миграции возрастает до 8,6–9,4 года (средняя защищенность) в северном направлении размещения отвалов фосфогипса. Наиболее высокая защищенность палеогенового водоносного горизонта, оцениваемая временем миграции до 40 лет, установлена в юго-восточном направлении. Максимальное же время миграции, составляющее 90 лет, прослеживается в западной части территории размещения отвалов фосфогипса. В то же время на всех этих площадях проявляется режим нисходящей фильтрации из вышележащих водоносных горизонтов, который предопределяет отнесение подземных вод лишь к условно защищенным.

Интегральная оценка защитных свойств слабопроницаемых отложений выполнена на основе расчета коэффициента ослабления загрязнения ( $K_0$ ) в соответствии с формулой (2).

Расчеты коэффициента ослабления загрязнения проведены для ярусного куста скважин, расположенного в западной части отвалов фосфогипса по центральной оси (куст скважин 51, 5<sup>A</sup>, 5<sup>B</sup>), исходя из положения, что боковой приток и отток загрязнения здесь минимальные (табл. 2).

**Таблица 2. Расчетные значения коэффициента ослабления загрязнения ( $K_0$ )**

**Table 2. Calculated values of the pollution reduce coefficient**

Номер скважины	Водоносный горизонт	Глубина до статического уровня воды от поверхности земли, м	$\text{SO}_4^{2-}$ -ион, мг/дм <sup>3</sup>	$\text{PO}_4^{3-}$ -ион (по Р), мг/дм <sup>3</sup>	$\text{NH}_4^+$ -ион (по N), мг/дм <sup>3</sup>	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>
35-1 фоновая	Грунтовый	3,52	17,6	0,008	0,40	288
16 <sup>A</sup> фоновая	Подморенный	3,26	147,2	0,014	0,46	445
16 <sup>B</sup> фоновая	Палеогеновый	3,28	10,7	0,072	0,62	175
51	Грунтовый	1,18	1670,0	367,800	6,10	4400
5 <sup>A</sup>	Подморенный	1,39	2750,0	0,490	1,40	3979
5 <sup>B</sup>	Палеогеновый	2,07	23,8	0,089	1,00	233
$K_0$ моренных суглинков и супесей, раз			0,63	773,0	6,1	1,2
$K_0$ алевритов палеогена, раз			199,0	28,0	2,5	61,0

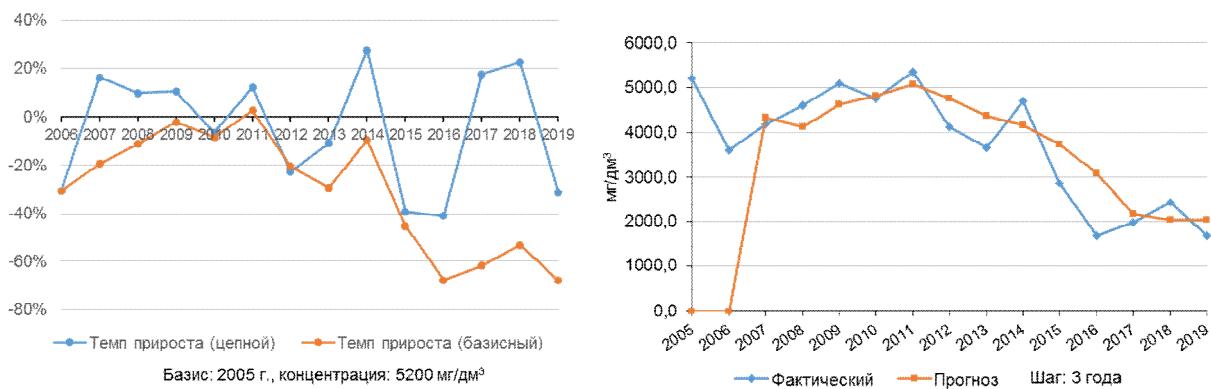
П р и м е ч а н и е. Дата отбора пробы – 24 мая 2019 года.

Анализ табл. 2 показывает, что моренные супеси и суглинки наиболее активно ослабляют загрязнение, вызванное фосфат-ионом и ионом аммония, которые также достаточно хорошо впоследствии задерживаются алевритами палеогена. Сульфат-ион практически не поглощается моренными отложениями, но весьма эффективно задерживается алевритами.

Данные локального мониторинга подземных вод свидетельствуют, что на территории размещения отвалов фосфогипса сохраняется сформировавшееся в течение длительного времени загрязнение, преимущественно представленное сульфатами и фосфатами. Наиболее высокие концентрации сульфат-иона и фосфат-иона, периодически превышавшие 4000 мг/дм<sup>3</sup>, обнаруживаются в грунтовых водах и подморенном водоносном горизонте [1]. При удалении от отвалов фосфогипса к его периферийной части и далее к границе санитарно-защитной зоны их концентрации существенно снижаются, вплоть до величин ниже ПДК для вод хозяйствственно-питьевого назначения.

Рассмотрим динамику загрязнения подземных вод на примере куста скважин принятого для расчета коэффициента ослабления загрязнения, используя временной ряд за 2005–2019 гг. для сульфат-иона. Интенсивность и относительную скорость изменения концентраций сульфат-иона исследуем с помощью коэффициента роста (снижения) и темпа прироста (сокращения), а общую тенденцию – методом скользящей средней. За базу сравнения примем концентрацию сульфат-иона в 2005 г.

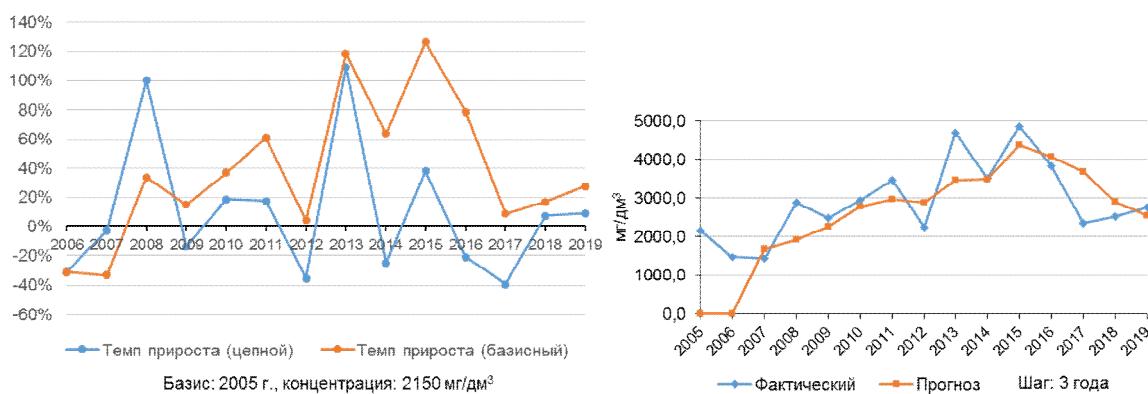
Динамика сульфатного загрязнения грунтового водоносного горизонта за рассматриваемый временной интервал носила колебательный характер с периодическим сокращением от 10 до 30 % (по цепному показателю) либо возрастанием примерно на такую же величину (рис. 3). Снижение концентраций сульфат-иона (за исключением 2011 г.) по отношению к базисному 2005 г. наиболее выражено в период с 2015 по 2019 г., когда они составляли 0,20–0,55 от базисного показателя. К 2015 г. концентрации сократились на 45 %, а к итоговому 2019 г. сокращение составило почти 68 %. С 2011 г. наблюдается тенденция снижения концентраций сульфат-иона и определенное их выравнивание в последние четыре года до 1700–2400 мг/дм<sup>3</sup> (см. рис. 3).



**Рис. 3. Динамика (температура прироста) и тенденция изменения (скользящее среднее) концентраций сульфат-иона в грунтовом водоносном горизонте (скважина 51) за 2005–2019 гг.**

**Fig. 3. Dynamics (growth rate) and trend (moving average) of sulfate ion concentrations in the ground aquifer (well 51) in 2005–2019**

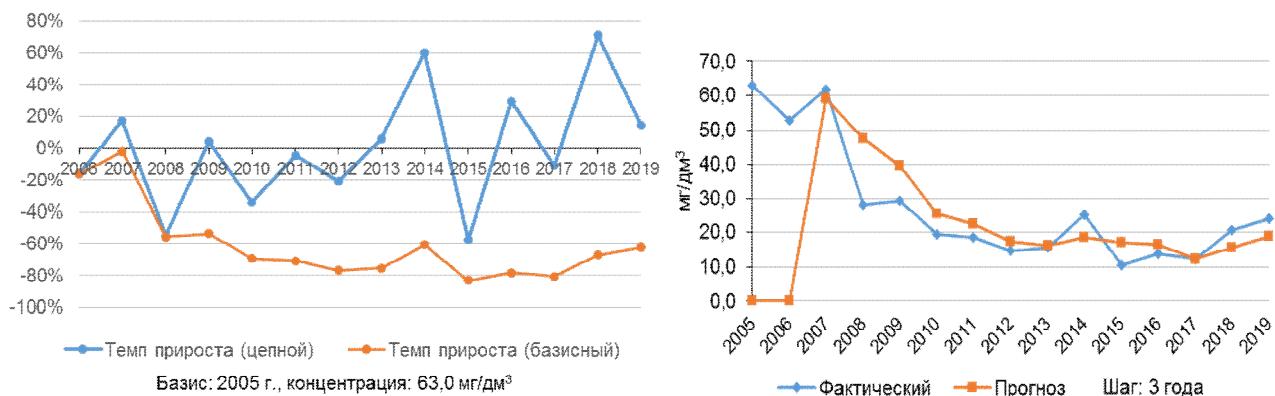
В подморенном водоносном горизонте многолетняя динамика концентраций сульфат-иона, как и в грунтовом водоносном горизонте, определяется ежегодными положительными и отрицательными колебаниями, отражающими незначительные сокращения концентраций (на 3 %) и весьма существенный темп прироста на 100 % и более (рис. 4). Наибольшая интенсивность роста концентраций относится к 2011 г. и 2013–2016 гг., когда темп роста в 1,6–2,3 раза превысил концентрации 2005 г. Несмотря на колебательный характер многолетнего распределения, за 2008–2015 гг. происходил более интенсивный темп прироста сульфат-иона по отношению к 2005 г., что определило в целом положительную тенденцию за этот период, сменившуюся в последние четыре года тенденцией снижения и относительным выравниванием концентраций, которые в 1,2–1,3 раза превышали базисный уровень (рис. 4).



**Рис. 4. Динамика (температура прироста) и тенденция изменения (скользящее среднее) концентраций сульфат-иона в подморенном водоносном горизонте (скважина 5<sup>A</sup>), 2005–2019 гг.**

**Fig. 4. Dynamics (growth rate) and trend (moving average) of sulfate ion concentrations in the Submorainic aquifer (well 5<sup>A</sup>), 2005–2019**

В палеогеновом водоносном горизонте, наиболее интенсивный рост концентраций в 1,6–1,7 раза происходил между 2013/2014 и 2017/2018 гг. По отношению к 2005 г. на протяжении 14 лет сохраняется отрицательная динамика концентраций сульфат-иона, которые к 2019 г. сократились на 62 % (рис. 5). Тенденция снижения концентраций сульфат-иона в палеогеновом водоносном горизонте наблюдается с 2007 г. Возрастание показателя в отдельные годы не было значительным и составляло 30–40 % от базисного 2005 г. (рис. 5).



**Рис. 5. Динамика (темп прироста) и тенденция изменения (скользящее среднее) концентраций сульфат-иона в палеогеновом водоносном горизонте (скважина 5<sup>Б</sup>), 2005–2019 гг.**

**Fig. 5. Dynamics (growth rate) and trend (moving average) of sulfate ion concentrations in the Paleogene aquifer (well 5<sup>Б</sup>), 2005–2019**

Таким образом, динамика и тенденции изменения концентраций сульфат-иона для куста скважин (51, 5<sup>A</sup>, 5<sup>Б</sup>), охватывающего три водоносных горизонта, в целом подтверждают расчетные значения коэффициента ослабления загрязнения для подморенного и палеогенового водоносных горизонтов. Палеогеновый водоносный горизонт в пределах местоположения данного куста скважин является наименее загрязненным сульфатами. Максимальные наблюдаемые здесь концентрации за последние 10 лет не превышали 0,05 ПДК для вод хозяйствственно-питьевого назначения. Более загрязненным является подморенный водоносный горизонт, в котором колебание концентраций сульфат-иона за 2007–2015 гг. имеет выраженный положительный прирост.

Очевидное снижение концентраций сульфат-иона в грунтовом и подморенном водоносных горизонтах с 2014–2015 гг. совпадает с прекращением отсыпки в отвалы свежих отходов фосфогипса в месте размещения исследуемого куста скважин. Кроме того, более или менее однородные концентрации сульфат-иона, за исключением отдельных экстремумов, в подморенном водоносном горизонте и отсутствие их видимого существенного возрастания в палеогеновом водоносном горизонте могут быть обусловлены как фильтрационными свойствами разделяющих водоупоров и снижением роли вертикальной составляющей потока над горизонтальной, так и физико-химическим взаимодействием между водным раствором и горной породой, которые не учитываются расчетной зависимостью В. М. Гольдберга. На фоне вертикальной миграции загрязнения определенная роль в его площадном распространении принадлежит латеральной миграции.

**Заключение.** Проведенное исследование в пределах промышленной территории ГХЗ позволяет сделать вывод о сформировавшейся здесь сложной природно-технической системе, функционирование которой оказывает влияние на химический состав подземных вод.

Наличие в геологическом разрезе слабопроницаемых отложений создает определенный потенциал защищенности от загрязнения с поверхности для межпластовых вод. Количественная оценка показала, что защищенность межпластовых напорных вод находится в зависимости от мощности слабопроницаемых отложений и градиента напора между соседними водоносными горизонтами.

Подземные воды первого от поверхности напорного березинско-днепровского горизонта на большей площади относятся к категории незащищенных, а на локальных участках – к условно защищенным. Второй от поверхности палеогеновый водоносный горизонт является более защищенным на всей площади своего распространения по сравнению с березинско-днепровским. Однако наличие нисходящей фильтрации из вышележащих водоносных горизонтов позволяет говорить лишь об условной его защищенности.

Присутствие в березинско-днепровском водоносном горизонте высоких концентраций сульфат-иона свидетельствует о том, что перекрывающий его слабопроницаемый слой не является надежным экраном, препятствующим проникновению загрязнения с дневной поверхности. Моренные супеси и суглинки наиболее эффективно снижают фосфатное и аммонийное загрязнение в 773,0 и 6,1 раза соответственно.

Второй слабопроницаемый слой, представленный алевритами палеогена, приводит к сокращению сульфатного (в 199,0 раза), фосфатного (в 28,0) и аммонийного загрязнения (в 2,5 раза).

Динамика концентраций сульфат-иона за период с 2005 по 2019 г. характеризуется ежегодными положительными и отрицательными колебаниями от 20–50 % до 100 % и более. Во всех исследуемых водоносных горизонтах в разное время проявляется тенденция снижения показателя: в грунтовом водоносном горизонте – с 2011 г., в подморенном – с 2015, в палеогеновом – с 2007 г.

#### Список использованных источников

- Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2019 год. – Минск, 2020. – 452 с.
- Жогло, В. Г. Мониторинг подземных вод на водозаборах и экологически опасных объектах юго-востока Беларуси / В. Г. Жогло, А. Н. Галкин. – Витебск : ВГУ им. П. М. Машерова, 2008. – 161 с.
- Жогло, В. Г. Опыт ведения мониторинга подземных вод в зоне влияния Гомельского химзавода / В. Г. Жогло, А. Ф. Акулевич, В. В. Коцур. – Минск : БелНИЦ «Экология», 1997. – 41 с.
- Жогло, В. Г. Закономерности формирования подземных вод верхнего этажа гидролитосферы в условиях техногенеза (на примере юго-востока Беларуси) : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук : 25.00.07 – Гидрогеология / В. Г. Жогло. – Минск, 2002. – 40 с.
- Коцур, В. В. Геохимия подземных вод зоны активного водообмена на территории влияния Гомельского химического завода : дис. ... канд. геол.-минерал. наук : 25.00.09. – Минск, 2004. – 256 с.
- Гольдберг, В. М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды / В. М. Гольдберг. – Л. : Гидрометеоиздат, 1987. – 248 с.
- ГОСТ 4398-72 Вода питьевая. Методы определения содержания сухого остатка. Введ. 01.01.74. – Минск : Госстандарт, 2003. – 12 с.
- ГОСТ 18164-72 Вода питьевая. Метод определения содержания сухого остатка. Введ. 01.01.74. – Минск : Госстандарт, 2011. – 3 с.
- ГОСТ 33045-2014 Вода. Методы определения азотсодержащих веществ. Введ. 01.11.2016. – Минск : Госстандарт, 2016. – 30 с.
- ПНД Ф 14.1:2:4.157-99 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации хлорид-ионов, нитрит-ионов, сульфат-ионов, нитрат-ионов, фторид-ионов и фосфат-ионов в пробах природных, питьевых и очищенных сточных вод с применением системы капиллярного электрофореза «Капель». – М. : Федеральный центр анализа и оценки техногенного воздействия, 2013. – 41 с.
- Жогло, В. Г. К оценке интенсивности площадного питания подземных вод / В. Г. Жогло, А. А. Плетнев // Докл. Акад. наук Беларуси. – 1992. – Т. 36, № 11–12. – С. 1005–1007.

#### References

- Nacional'naya sistema monitoringa okruzhayushchej sredy Respubliki Belarus': rezul'taty nablyudenij, 2019 god* [National environmental monitoring system of the Republic of Belarus: results of observations, 2019]. Minsk, 2020, 452 p. (in Russian)
- Zhoglo V. G., Galkin A. N. *Monitoring podzemnyh vod na vodozaborah i ekologicheski opasnyh ob'ektah yugo-vostoka Belarusi: monografiya* [Monitoring of groundwater at water intakes and environmentally hazardous facilities in the south-east of Belarus]. Vitebsk, 2008, 161 p. (in Russian)
- Zhoglo V. G., Akulevich A. F., Kocur V. V. *Opyt vedeniya monitoringa podzemnyh vod v zone vliyanija Gomel'skogo himzavoda* [Experience of monitoring researches of groundwater within the Gomel chemical plant]. Minsk, 1997, 41 p. (in Russian)
- Zhoglo V. G. *Zakonomernosti formirovaniya podzemnyh vod verhnego etazha gidrolitosfery v usloviyah tekhnogeneza (na primere yugo-vostoka Belarusi)* [Dominant conditions of ground water formation in hydro-lithosphere's upper level with techno genesis surroundings (on the specific example of South-Eastern Belarus). Dr. geol. and mineral. sci. abstract]. Minsk, 2002, 40 p. (in Russian)
- Kocur V. V. *Geohimiya podzemnyh vod zony aktivnogo vodoobmena na territorii vliyanija Gomel'skogo himicheskogo zavoda* [Geochemistry of underground waters in the zone of active water exchange on the territory influenced by Gomel chemical plant. Dr. geol. and mineral. sci. diss.]. Minsk, 2004, 256 p. (in Russian)
- Gol'dberg V. M. *Vzaimosvyaz' zagryazneniya podzemnyh vod i prirodnoj sredy* [The relationship between ground-water pollution and the natural environment]. Leningrad, 1987, 248 p. (in Russian)
- GOST 4398-72 *Voda pit'evaya. Metody opredeleniya soderzhaniya sul'fatov* [State Standard 4398-72. Drinking water. Methods for determination of sulphate content]. Moscow, 2003, 12 p. (in Russian)
- GOST 18164-72 *Voda pit'evaya. Metod opredeleniya soderzhaniya suhogo ostatka* [State Standard 18164-72. Drinking water. Method for determination of total solids content]. Minsk, 2011, 3 p. (in Russian)
- GOST 33045-2014 *Voda. Metody opredeleniya azotsoderzhashchih veshchestv* [State Standard 33045-2014. Water. Methods for determination of nitrogen-containing matters]. Minsk, 2016, 30 p. (in Russian)
- PND F 14.1:2:4.157-99 *Kolichestvennyj himicheskij analiz vod. Metodika izmerenij massovoj koncentracii hlorid-ionov, nitrit-ionov, sul'fat-ionov, nitrat-ionov, ftorid-ionov i fosfationov v probah prirodnnyh, pit'evyh i ochishchennyh*

- stochnyh vod s primeneniem sistemy kapillyarnogo elektroforeza "Kapef"* [Quantitative chemical analysis of water]. Moscow, 2013, 41 p. (in Russian)
11. Zhoglo, V. G., Pletnev A. A. *K ocenke intensivnosti ploshchadnogo pitaniya podzemnyh vod* [To assess the intensity of groundwater areal recharge]. *Dokl. AN Belarusi = Doklady of the National academy of sciences of Belarus*, 1992, vol. 36, no. 11–12, pp. 1005–1007. (in Russian)

#### Информация об авторах

*Шершнёв Олег Владимирович* – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры социально-гуманитарных дисциплин института повышения квалификации и переподготовки, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины (ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель, Беларусь). E-mail: gomelgeo@yandex.ru

*Павловский Александр Илларионович* – кандидат географических наук, доцент; заведующий кафедрой геологии и географии, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины (ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель, Беларусь). E-mail: aipavlovsky@mail.ru

*Акулевич Анатолий Францевич* – старший преподаватель кафедры геологии и географии, Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины (ул. Советская, 104, 246019, г. Гомель, Беларусь). E-mail: aakulevich@gsu.by

#### Information about the authors

*Oleg V. Shershnyov* – PhD (geography), docent; associate professor at the department of social and humanitarian disciplines, Institute of skills development and retraining, Francisk Skorina Gomel State University (104, Sovetskaya Str., 246019, Gomel, Belarus). E-mail: gomelgeo@yandex.ru

*Aleksandr I. Pavlovskii* – PhD (geography), docent; Head of Geology and Geography Department, Francisk Skorina Gomel State University (104, Sovetskaya Str., 246019, Gomel, Belarus). E-mail: aipavlovsky@mail.ru

*Anatolij F. Akulevich* – Senior lecturer, Department of Geology and Geography, Francisk Skorina Gomel State University (104, Sovetskaya Str., 246019, Gomel, Belarus). E-mail: aakulevich@gsu.by

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2020-2-53-63>

УДК 551.48:556(156)

Поступила в редакцию 16.10.2020

Received 16.10.2020

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ПРОБЛЕМЫ ВОДООБЕСПЕЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ХОЗЯЙСТВА ПРОВИНЦИИ ГУЙЧЖОУ

Ван Хао, П. С. Лопух

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

**Аннотация.** Рост численности населения Китая обуславливает продовольственную безопасность страны и проблему водоснабжения и организации рационального водопользования в различных отраслях хозяйства. Увеличение орошаемых земель, традиционные системы земледелия, несовершенные ирригационные системы, загрязнение поверхностных вод обуславливают возрастание проблем водопользования как в сельском хозяйстве, так и в промышленности. Особенности возобновления водных ресурсов связаны с широким развитием карстующихся пород в провинции, пространственными и временными особенностями территории провинции Гуйчжоу, одного из густонаселенных регионов Китая.

Для написания статьи были использованы опубликованные и официальные фондовые источники. На примере маловодного 2016 года и многоводного 2015 года при остром дефиците информации материалы статьи достаточно representative и объективно представляют особенности формирования водных ресурсов и пространственные проблемы водообеспечения в условиях муссонного климата.

Выявлено, что для обеспечения водоснабжения первостепенное значение имеет пространственное и временные распределение поверхностных водных ресурсов и их условия возобновления. Особенно существенна роль поверхностных водных ресурсов в обеспечении сельского хозяйства провинции. Установлен дисбаланс между социально-экономическим развитием провинции и использованием водных ресурсов. Наибольший дефицит воды имеют города (Гуйян, Аньшунь и Люпаньшуй), расположенные на водоразделах бассейнов рек Янцзы и Чжуцзян. Кроме того, гористый рельеф в сочетании с развитием карста создают сложную картину аномальных условий восполнения водных ресурсов за счет выпадения атмосферных осадков.

Мозаичность природных условий на фоне сезонных климатических условий требуют комплексного управления водными ресурсами с учетом пространственных региональных особенностей провинции, разработки гидрологического и водохозяйственного районирования провинции с учетом особенностей формирования стока в малых водосборах.

**Ключевые слова:** Гуйчжоу; КНР; водные ресурсы; оценка; проблемы; формирование; оптимизация.

**Для цитирования.** Ван Хао, Лопух П. С. Особенности формирования водных ресурсов и проблемы водообеспечения различных отраслей хозяйства провинции Гуйчжоу // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 53–63.

## FEATURES OF THE FORMATION OF WATER RESOURCES AND PROBLEMS OF WATER SUPPLY OF VARIOUS SECTORS OF THE ECONOMY GUIZHOU PROVINCE

Wan Khao, P. S. Lopuch

Belarusian State University, Minsk, Belarus

**Abstract.** The growing population of China determines the country's food security and the problem of water supply and the organization of rational water use in various sectors of the economy. The increase in irrigated land, traditional farming systems, imperfect irrigation systems, pollution of surface waters cause an increase in water use problems both in agriculture and in industry. Features of the renewal of water resources are associated with the widespread development of karst rocks in the province, the spatial and temporal features of the territory of Guizhou province, one of the densely populated regions of China.

Published and official stock sources were used to write the article. Using the example of low-water 2016 and high-water 2015 with an acute shortage of information, the materials of the article are quite representative and objectively represent the features of the formation of water resources and spatial problems of water supply in a monsoon climate.

The growing population of China determines the country's food security and the problem of water supply and the organization of rational water use in various sectors of the economy. The increase in irrigated land, traditional farming systems, imperfect irrigation systems, pollution of surface waters cause an increase in water use problems both in agriculture and in industry. Features of the renewal of water resources are associated with the widespread development of

karst rocks in the province, the spatial and temporal features of the territory of Guizhou province, one of the densely populated regions of China.

Published and official stock sources were used to write the article. Using the example of low-water 2016 and high-water 2015 with an acute shortage of information, the materials of the article are quite representative and objectively represent the features of the formation of water resources and spatial problems of water supply in a monsoon climate.

It was revealed that the spatial and temporal distribution of surface water resources and their conditions for renewal are of paramount importance to ensure water supply. The role of surface water resources in providing agriculture in the province is especially significant. An imbalance has been established between the socio-economic development of the province and the use of water resources. The cities (Guiyang, Anshun and Liupanshui), located on the watersheds of the Yangtze and Zhujiang rivers, have the greatest water deficit.

In addition, the mountainous relief in combination with the development of karst creates a complex picture of abnormal conditions for the replenishment of water resources due to atmospheric precipitation. The mosaic nature of natural conditions against the background of seasonal climatic conditions requires an integrated management of water resources, taking into account the spatial regional features of the province, the development of hydrological and water zoning of the province, taking into account the peculiarities of the formation of runoff in small catchments.

**Keywords:** Guizhou; China; water resources; assessment; problems; formation; optimization.

**For citation.** Wan Khaο, Lopuch P. S. Features of the formation of water resources and problems of water supply of various sectors of the economy Guizhou province. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 53–63.

**Введение.** Проблемы водопользования в КНР в условиях урбанизации и общего увеличения численности населения представляет определенный интерес. В использовании водных ресурсов в КНР выделяется несколько этапов [5–9]. Первый, древний, включает период последнего тысячелетия до нашей эры. В конце IV – середине III в. до н. э. орошаемое земледелие достигло в стране высокого уровня и создало базис экономики государства Цинь. Крупномасштабная ирригация стала основным условием развития сельского хозяйства, а поливное земледелие – важнейшим фактором прогресса китайской цивилизации. Уникальная и самая древняя ирригационная система, построенная 2200 лет назад в провинции Сычуань, сохранилась до наших дней и пережила великие древние ирригационные системы Древнего Рима, являясь самым масштабным гидромелиоративным сооружением этой эпохи.

Второй этап включает 1-е и 2-е тысячелетия н. э. вплоть до 1949 г. Для него была характерна реализация проектов по обузданию ряда рек от наводнений, многие из которых играют важную роль в орошении. Примером такой системы может служить проект по борьбе с наводнениями и решение проблемы орошения пахотных земель в западной Сычуани (бассейн р. Миньцзян).

Третий, современный этап (с 1949 г.) связан с образованием КНР и отличается реформированием устаревшей системы водопользования. Оросительные системы Китая являются крупнейшими в мире и по разным оценкам имеют площадь от 53,8 до 59,3 млн га [12]. К 2019 г., например, они занимали площадь в 74,0 млн га. Данные по площади в каждом году уточняются и не имеют реальной оценки. Более половины посевных орошаемых площадей заняты в основном зерновыми культурами и хлопчатником.

Территорию КНР условно можно разделить на три зоны орошения с разной степенью увлажнения атмосферными осадками. В первой зоне многолетнего орошения, где годовое количество осадков менее 400 мм, и орошение необходимо для сельского хозяйства в течение всего года. Это в основном северо-западные засушливые регионы и часть среднего течения р. Хуан. Вторая зона отличается влиянием муссонного климата и неравномерным распределением осадков от 400 до 1000 мм. Орошение необходимо для обеспечения производства сельскохозяйственной продукции. Зона охватывает северо-восток Китая и равнины Хуан-Хуай-Хай [1–4].

Третья зона отличается годовым количеством осадков, превышающим 1000 мм – это зона дополнительного орошения. Орошение необходимо для возделывания риса и дополнительного орошения некоторых горных культур. Она охватывает среднее и нижнее течения рек Чанг, Чжу, Минг и часть юго-западного Китая. В эту зону входит и провинция Гуйчжоу.

Четвертый современный этап и наиболее перспективный этап определяется сроком до 2050 г. и характеризуется комплексным использованием поверхностных водных источников, дальнейшим активным совершенствованием оросительных систем, оптимизацией использования поверхностных вод. Потенциал орошения в КНР составляет около 70 млн га. К 2050 г. орошающее земледелие составит 66 млн га, из которых 63 млн га – для однолетних и продовольственных культур. Поверхностное орошение используется в основном для выращивания зерновых, овощей, хлопчатника. По данным на 2019 г. эти культуры занимают 68 млн га.

До 1980 г. отмечалось некоторое снижение площади орошаемых земель дождеванием из-за низкого качества оборудования и плохого управления водными ресурсами [18–21]. Дождевание используется в Китае с начала 1950-х годов. Первый проект был запущен в Шанхае в 1954 г. В 1976 г. дождеванием было охвачено 67 тыс. га и площади, охваченные дождеванием, увеличивались до

1980 г. Однако с этого момента из-за низкого качества оборудования и плохого управления были заброшены большие площади орошаемых земель.

Современное сельское хозяйство использует следующие оросительные системы: малые (менее 667 га), средние (667–20 000 га), крупные (20 000–33 333 га), очень крупные (более 33 333 га).

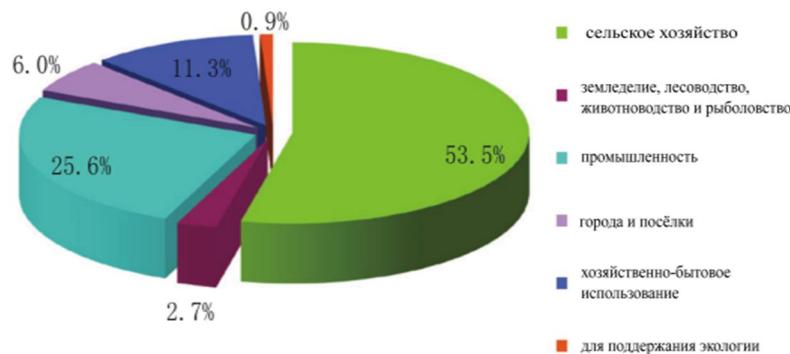
Большие, крупные и средние оросительные системы, как правило, управляются специальными государственными организациями. Малые в основном являются фермерскими хозяйствами. Некоторые небольшие пруды, колодцы и насосные станции находятся в собственности физических лиц.

В конце XX и начале XXI в. КНР реализовало проекты и реформы по улучшению орошения в крупных и средних орошаемых областях с хорошими водными и земельными условиями, которые завершились к 2020 г. [22]. Проекты включали строительство новых и реконструкцию основных и второстепенных каналов. Китай осуществляет обновление дренажных насосных станций в областях масштабного орошения. Активно проводятся реабилитация, новое строительство, модернизация и реформирование работы малых водных источников, каналов, насосных станций. Ускорилась реформа возделываемых земель малых и средних оросительных систем. Китай способствует эффективному развитию водосберегающих технологий орошения, переадресации и перекачки воды, а также сбора дождевой воды.

С 1949 г., после сокращения разрушенных наводнениями сельхозугодий, продовольственные потери сократились на 10,17 млн м<sup>3</sup>/год [14]. Однако современные ирригационные проекты и водное хозяйство в целом гарантирует продовольственную безопасность Китая.

Потребность в орошении возникает при дефиците влаги, доступной для корневой системы культур. Величина этого дефицита зависит от ряда факторов, включая количество и характер осадков, стока и испарения в критические периоды для роста, вида, сорта, количества и даты посадки сельскохозяйственных культур.

Бурный рост экономики и возрастающая численность населения в КНР обостряют проблему водоснабжения. С одной стороны, отмечается рост потребности в воде, в особенности в сельском хозяйстве, а с другой – возрастающее загрязнение поверхностных источников, доля которых в водоснабжении составляет около 97 %. Подземные источники составляют не многим более 3 % (рис. 1) [10, 11].



**Рис. 1. Виды использования поверхностных вод в КНР, 2016 г.  
(Бюллетень водных ресурсов провинции Гуйчжоу, 2017 г.)**

**Fig. 1. Uses of surface water in the PRC, 2016 (Guizhou Water Bulletin, 2017)**

**Методика исследования.** Данные по орошаемым площадям в КНР являются объектом проблематичным и неоднозначными даже по итогам дебатов политических и финансовых деятелей. Они зачастую искажаются, противоречивы по различным источникам и используются в своих целях заинтересованными организациями. Поэтому с ними необходимо обращаться с осторожностью. Удаленность и изолированность территории КНР осложняет возможности получения необходимой и объективной информации по современному состоянию водных ресурсов.

Для подготовки статьи были использованы опубликованные и официальные фондовые источники [1–23]. Для оценки водных ресурсов использованы данные маловодного 2016 года и многоводного 2015 года. На наш взгляд, при дефиците информации материалы статьи достаточно презентативны для рассматриваемой территории и объективно представляют особенности возобновления и использования водных ресурсов КНР в условиях муссонного климата и сильной закарствованности территории провинции Гуйчжоу.

### **Результаты и обсуждение.**

**Использование водных ресурсов.** По административным районам провинции Гуйчжоу объемы потребляемой воды из открытых источников колеблются от 7,0 до 23,5 усл. ед. (здесь и далее условная единица равна 100 млн м<sup>3</sup>). Среди районов провинции по объемам заборов воды выделяются Цзуньи (23,5 усл. ед.), Цяньдуннань (13,3), Бицзе, Цзянънань, Гуйян (10,0–11,0 усл. ед. в каждом).

Использование водных ресурсов также неравномерно, что обусловлено в основном рельефом и пригодностью земель для возделывания сельскохозяйственных культур. Потребление объемов воды сельским хозяйством колеблется от 4,0 до 14,0 усл. ед. Основными районами потребления являются те же районы провинции – Цзуньи (14,5 усл. ед.), Цяньдуннань (8,8), Цзянънань (7,0 усл. ед.) и др. На сельское хозяйство приходится более 50 % забираемой воды из открытых источников. Второе место по потреблению занимает промышленность (25,0–26,0 усл. ед.). На городское водоснабжение приходится 6,01 усл. ед., на хозяйственно-бытовое – 11,34 усл. ед. (табл. 1). Для поддержания экологического состояния водных объектов расходуется не многим менее 1 % забираемых вод.

Приведенные данные свидетельствуют о существенной роли поверхностных водных ресурсов провинции в обеспечении сельского хозяйства. Поэтому для обеспечения водоснабжения первостепенное значение имеет пространственное и временное распределение поверхностных водных ресурсов и их условия возобновления [10, 11].

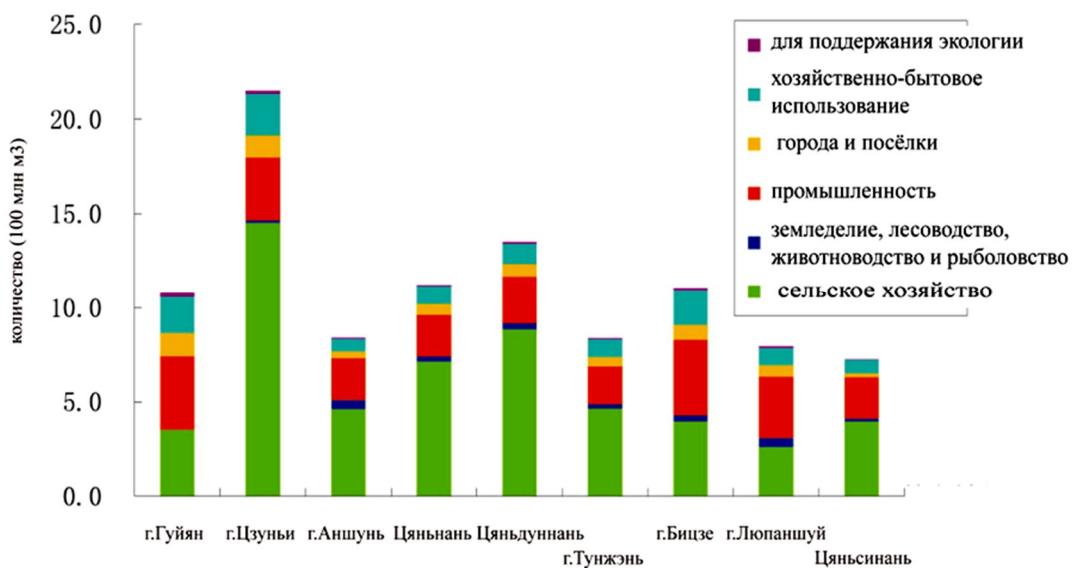
По данным на 2016 г. использование поверхностных водных ресурсов в сельском хозяйстве доминирует (рис. 2). Среди административных районов по объемам использования воды в сельском хозяйстве выделяются районы Цзуньи, Цяньдуннань и Цзянънань. Использование поверхностных вод в промышленности по районам провинции существенно не различается. Несколько большее потребление водных ресурсов приходится на промышленные центры – города Бицзе, Гуйян и Люпаншуй.

В то же время потребление воды на одного человека варьирует в больших пределах: от 169 до 383 м<sup>3</sup> на чел/год. Наиболее водоемкими районами являются административные районы Аншунь, Цзянънань, Цяньдуннань, отличающиеся большими объемами заборов воды на сельское хозяйство и промышленность.

**Таблица 1. Объемы заборов воды из открытых источников и использованной воды по отдельным видам деятельности (по состоянию на маловодный 2016 год)**

**Table 1. Volumes of water abstractions from open sources and used water by individual types of activity (as of 2016 low-water year)**

Административный центр	Количество водоснабжения (зabora) воды				Количество использованной воды						
	Поверхностные источники	Подземные источники	Другие источники	Общее количество	Сельское хозяйство	Земледелие, лесо-водство, животноводство	Промышленность	Города, поселки	Хозяйственно-бытовое	Для поддержания экологии	Общее количество
г. Гуйян	10,41	0,19	0,33	10,93	3,50	0,13	3,92	1,23	1,91	0,24	10,93
г. Цзуньи	21,54	0,33	0,00	21,88	14,52	0,50	3,33	1,17	2,18	0,18	21,88
г. Аншунь	7,50	0,69	Н.с.	8,19	4,59	0,29	2,22	0,35	0,69	0,05	8,19
Цзянънань	10,90	0,33	0,06	11,29	7,11	0,34	2,21	0,58	0,98	0,06	11,29
Цяньдуннань	13,03	0,41	Н.с.	13,44	8,83	0,26	2,52	0,65	1,10	0,08	13,44
г. Тунжэнь	8,05	0,37	Н.с.	8,42	4,61	0,32	2,00	0,47	0,95	0,06	8,42
г. Бицзе	10,82	0,14	0,28	11,25	3,96	0,50	4,02	0,79	1,88	0,11	11,25
г. Люпаншуй	76,12	0,44	0,05	7,61	2,59	0,17	3,26	0,58	0,92	0,09	7,61
Цзиньсинянь	7,08	0,19	0,04	7,32	3,95	0,24	2,19	0,20	0,72	0,02	7,32
Всего по провинции:	96,46	3,08	0,77	100,31	53,66	2,75	25,68	6,01	11,34	0,88	10,31



**Рис. 2. Сравнительная характеристика водопользования по административным районам провинции Гуйчжоу, 2016 г.**

**Fig. 2. Comparative characteristics of water use by administrative regions of Guizhou province, 2016**

Между социально-экономическим развитием провинции и использованием водных ресурсов существует большой дисбаланс. Такие важные города, как Гуйян, Аньшунь и Люпаншуй, расположены на водоразделах бассейнов рек Янцзы и Чжуцзян. Поэтому водные ресурсы ограничены. На одного жителя приходится очень мало воды. Например, объем водных ресурсов на душу населения в Гуйяне составляет менее  $\frac{1}{3}$  от среднего по КНР. А эти города являются главными экономическими центрами провинции Гуйчжоу. Потребление воды в них велико, поэтому они испытывают серьезный дефицит воды, особенно в засушливый период. Согласно статистическим данным, основываясь на действующих стандартах водопользования, около 50 % городов и поселков провинции ощущают в различной степени дефицит водных ресурсов. Вопросы гидротехнического строительства все больше увязываются с водообеспечением городов, и все меньше традиционной практикой орошения сельскохозяйственных земель, т. е. осуществляется переход от сельскохозяйственного гидростроительства к городскому типу. Поэтому решение проблемы дефицита воды в городах будет самой важной задачей для развития и использования водных ресурсов в ближайшей и далекой перспективе.

Эффективность использования водных ресурсов низкая, а уровень потребления воды на единицу ВВП далек от общенационального уровня. Во многих местах используется традиционный режим орошения сельскохозяйственных угодий. При этом коэффициент использования оросительной воды низкий – всего около 0,42, а расходы весьма серьезные.

**Запасы водных ресурсов и их восполнение.** Общее количество водных ресурсов в провинции относительно велико, но пространственное и временное распределение неравномерно, а в сухой период сильно снижается. Из-за низкого экономического уровня инвестиций в проекты по развитию водного хозяйства степень освоения и использования водных ресурсов низкая и составляет всего 9,41 %. На сегодня существует мало проектов в области водоснабжения, а более 90 % реализованных проектов составляют небольшие локальные проекты. Мультифункциональные проекты мало помогают накоплению и регулированию стока, не способствуют эффективному использованию особенно местного стока. Поэтому большая часть формирующегося стока на территории провинции уходит вместе с общим стоком рек в виде нерегулируемых паводков, зачастую пополняя карстовые воды [13–17].

Формирование поверхностных вод провинции обеспечивается атмосферными осадками. Основная масса атмосферных осадков приходится на период дождей – апрель–август (рис. 3). Осадки распределяются по провинции Гуйчжоу более-менее равномерно (рис. 4).

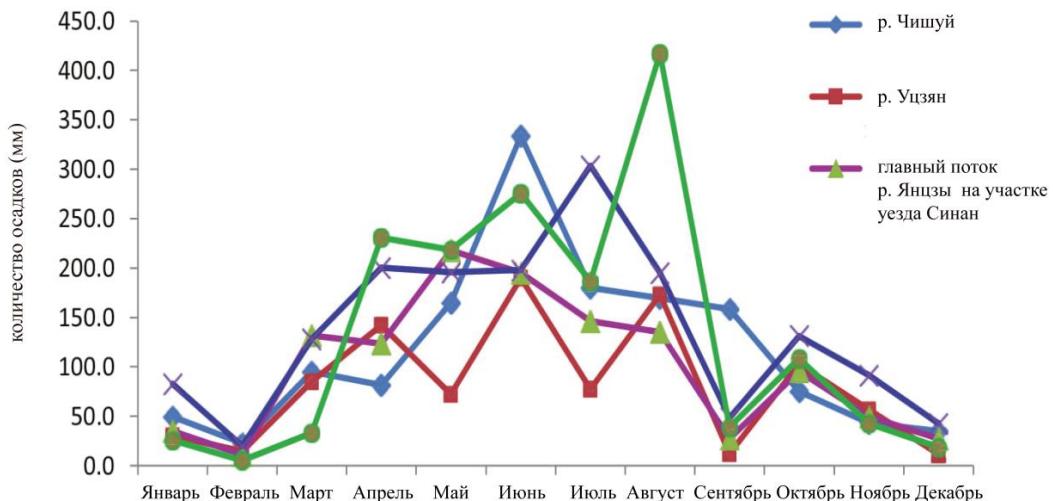


Рис. 3. Распределение атмосферных осадков в течение 2016 г.  
(Бюллетень водных ресурсов провинции Гуйчжоу, 2017 г.)

Fig. 3. Distribution of atmospheric precipitation during, 2016  
(Guizhou Water Bulletin, 2017)

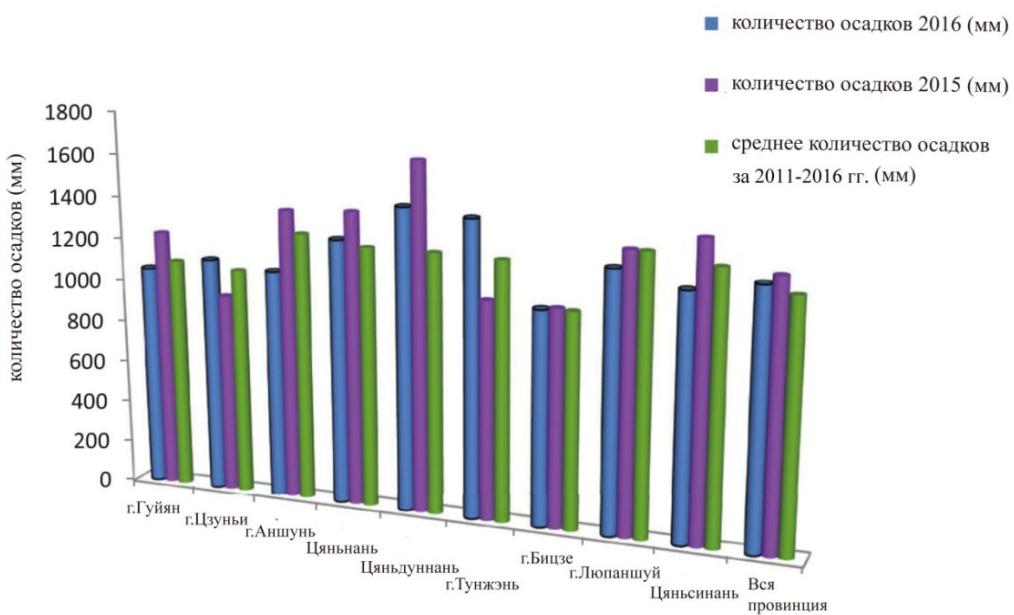


Рис. 4. Распределение атмосферных осадков по административным районам провинции Гуйчжоу, 2015–2016 гг. (Бюллетень водных ресурсов провинции Гуйчжоу, 2017 г.)

Fig. 4. Distribution of atmospheric precipitation by administrative regions of Guizhou province, 2015–2016 (Guizhou Water Resources Bulletin, 2017)

Пространственное формирование поверхностных водных ресурсов осложняется рельефом территории провинции и высокой степенью карстующихся пород, слагающих водосборы. Поэтому при относительно равномерном распределении осадков отмечается мозаичность их распределения по водосборам.

Главная водораздельная линия неравномерно отделяет элементарные водосборы провинции, большая часть которых принадлежит к бассейну р. Янцзы (рис. 5 и 6). В пределах провинции она проходит по линии, разделяющей водосбор р. Янцзы и водосборы рек Бэйпаньцзян–Хуншуйхэ–Люцзян.

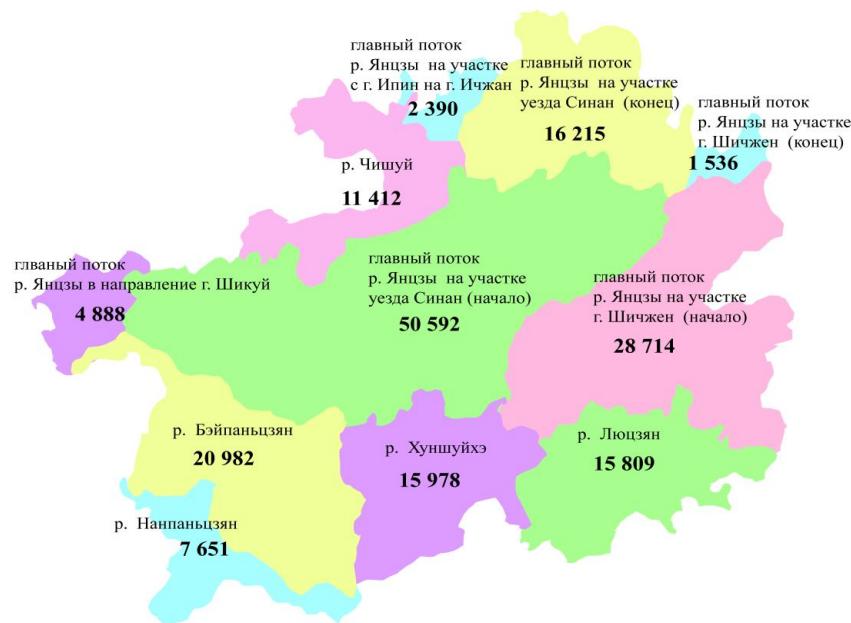


Рис. 5. Главные водосборные территории провинции Гуйчжоу.

Условные обозначения: цифрами указана площадь района, цветом – бассейны рек, главный поток – основные притоки р. Янцзы

Fig. 5. Main catchment areas of Guizhou Province. Legend: the numbers indicate the area of the district, color – river basins, main stream – main tributaries of the Yangtze



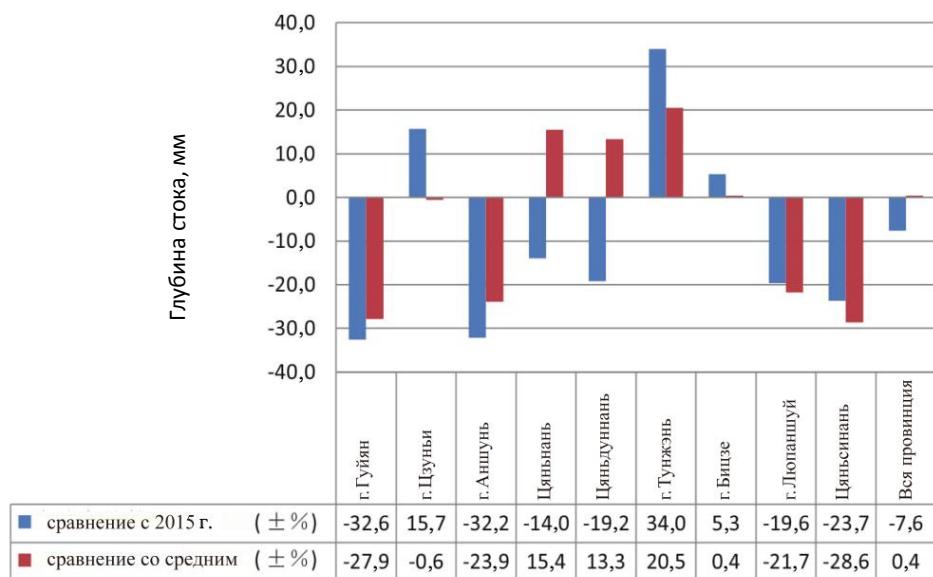
Рис. 6. Основные реки провинции Гуйчжоу

Fig. 6. Main rivers of Guizhou province

При общем количестве атмосферных осадков в провинции более 1000 мм испаряемость на большей ее части составляет 1000–1250 мм. В соответствии с приведенными данными дефицит водных ресурсов колеблется от 100 до 500 мм. Коэффициент стока варьирует в пределах 0,4–0,6, возрастая к востоку и северо-западу провинции до 0,5–0,6.

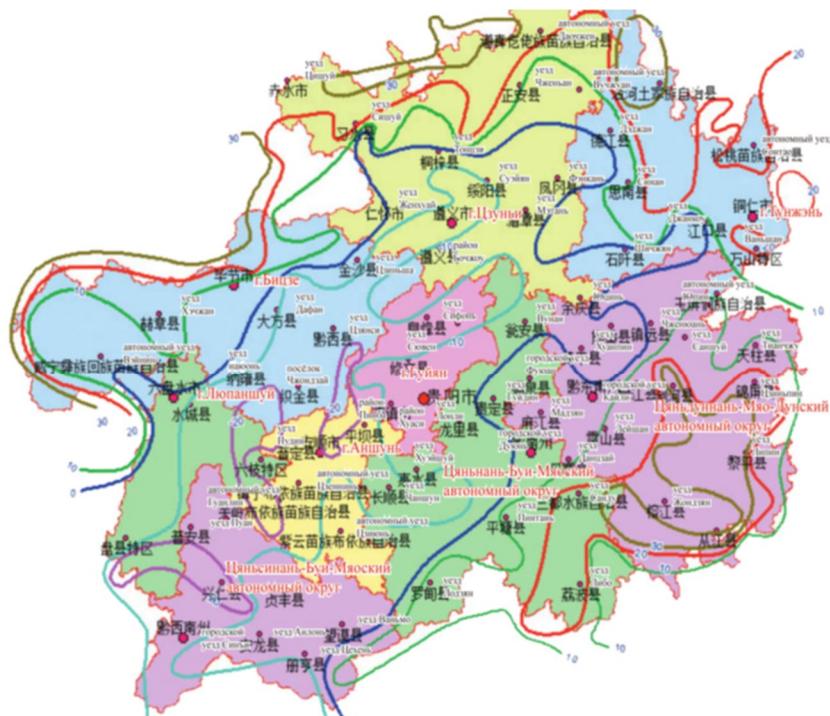
Анализ распределения объемов годового стока по административным центрам свидетельствует о неравномерности формирования стока по административным районам провинции Гуйчжоу, потенциальным потребителями водных ресурсов (рис. 7).

На рис. 8 приведены аномалии атмосферных осадков по территории провинции Гуйчжоу. Цветными изолиниями отображены районы с избыточным (+) и недостаточным (-) увлажнением водосборов. Гористый рельеф территории, карстующиеся породы водосборов и сезонное выпадение осадков обуславливают сложную картину восполнения поверхностных водных ресурсов.



**Рис. 7. Распределение объемов годового стока по административным районам**

**Fig. 7. Distribution of annual runoff volumes by administrative districts**



**Рис. 8. Схема аномалий атмосферных осадков провинции в маловодный 2016 год (мм)**

**Fig. 8. Schematic of anomalies of atmospheric precipitation in the province in dry 2016 (mm)**

Наиболее сложная картина аномальных условий формирования стока складывается в центре и на юго-западе провинции. В целом в центральных районах (выделен синим контуром) наблюдается дефицит атмосферных осадков. Ситуация в распределении осадков в данных районах осложняется сложным сильно пересеченным рельефом. Более увлажненные районы находятся на северо-западные и юго-восточные периферийные части провинции (выделены красным цветом).

Гористый рельеф предопределяет использование земель для орошения преимущественно по долинам рек и в замкнутых межгорных котловинах, поэтому использование воды в сельском хозяйстве при существующей несовершенной системе орошения крайне проблематично. Наиболее целесообразно рассматривать формирование водных ресурсов на уровне малых водосборов, разрабатывать водохозяйственные балансы с учетом потребностей сельского хозяйства и водоснабжения уездных городов.

**Заключение.** Приведенные исследования свидетельствуют о необходимости комплексного управления водными ресурсами и решения экологических вопросов. Одним из научных приемов оптимального использования водных ресурсов в сельском хозяйстве является необходимость водохозяйственного районирования территории провинции с учетом региональных условий формирования стока, а также международного опыта. Наиболее перспективным является гидрологическое районирование территории с учетом специфики малых водосборов.

Проблема рационального использования водных ресурсов региона усугубляется мозаичностью природных условий на фоне сезонных климатических особенностей. Вторым проблемным полем остается проблема водохозяйственного обустройства орошаемого земледелия и особенности использования воды в сельском хозяйстве на местном уровне.

#### Список использованных источников

1. Zhang Xiuqing. A review of studies on adaptation of China's water resources management to climate change [Electronic resource] / Zhang Xiuqing, Wang Yahua // Resources and Environment in the Yangtze Basin. – Mode of access: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFDLAST2016&filename=CJLY201512009&v=MTc2MTZyV00xRnJDVVI3cWZZT1J1Rml2a1Y3L01KaWZIZDdHNEg5VE5yWTIGYIISOGVYMUx1eFITN0RoMVQzcVQ=>. – Date of access: 14.09.2019.
2. Hong Zhang. Review of River Basin Water Resource Management in China [Electronic resource] / Hong Zhang, Gui Jin, Yan Yu // Water. – 2018. – Vol. 10. – P. 425. – Mode of access: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/425>. – Date of access: 26.06.2020.
3. Zhang Hongbo. Research on Water Resources Management of Plain District and County Based on ET Control [Electronic resource] / Zhang Hongbo, Lan Tian // Journal of Hydraulic Engineering. – 2016. – Vol. 02. – Mode of access: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFDLAST2016&filename=SLXB201602001&v=MjQ3OTFNclk5RlpZUjhWDFMdXhZUzdEaDFUM3FUcldnMUzyQ1VSN3FmWU9SdUZpamhXN3JJTmlIVGJMRzRIOwY=>. – Date of access: 21.05.2020.
4. Liu Yujie. Evaluation of Water Resources Vulnerability in Beijing-Tianjin-Hebei Region [Electronic resource] / Liu Yujie, Liu Junguo // Bulletin of Soil and Water Conservation. – 2016. – Vol. 03. – Mode of access: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFDLAST2016&filename=STTB201603036&v=21.05.2016.MTcwMzF1Rml2a1VMdkFOam5mYkxHNEg5Zk1ySTIHW9SOGVYMUx1eFITN0RoMVQzcVRyV00xRnJDVVI3cWZZT1I=>. – Date of access: 11.05.2020.
5. Wu Xinmu. Two-level model of water resources allocation based on uncertainty and its empirical study [Electronic resource] / Wu Xinmu, Ren Junlin // Acta Scientiae Circumstantiae. – 2016. – Vol. 06. – Mode of access: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFDLAST2016&filename=HJXX201606044&v=MzlzNDFTZIRkckc0SDImTXFZOUJZSVI4ZVgxTHV4WVM3RGgxVDNxVHJXTTFGckNVUjdxZlIPUnVGaXZrVnlvT0w=>. – Date of access: 12.02.2020.
6. Zhang Jianming. Re-understanding of Water Resources in China / Zhang Jianming, He Ruiming // Advances in Water Science. – 2017. – Vol. 03. – P. 25–27.
7. Zhang Jianyun. Urbanization and the problems faced by urban hydrology / Zhang Jianyun // Hydro-Science and Engineering. – 2015. – Vol. 03. – P. 96–99.
8. Wang Guoqin. Research on Response Characteristics of Runoff in Liaohe River Basin to Climate Change / Wang Guoqin, Jin Junliang // Advances in Earth Science. – 2017. – Vol. 04. – P. 12–17.
9. Wang Jinxin. Change trend of annual runoff distribution in six major river basins in China in the past 50 years [Electronic resource] / Wang Jinxin, Li Jianyun // Advances in Water Science. – 2007. – Vol. 02. – Mode of access: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD2007&filename=SKXJ200702012&v=MDE3NjV4WVM3RGgxVDNxVHJXTTFGckNVUjdxZlIPUnVGaXZrVzcvQk5pYIRaTEc0SHRiTXYJZOUVab1I4ZVgxTHU=>. – Date of access: 11.05.2020.
10. Coupling a groundwater model with a land surface model to improve water and energy cycle simulation / W. Tian [et al.] // J. Hydrology and Earth System Sciences. – 2012. – Vol. 165. – P. 35–36.
11. Бюллетень водных ресурсов провинции Гуйчжоу 2017 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- [http://www.gzmwr.gov.cn/slgb/slgb1/201811/t20181121\\_3300137.html](http://www.gzmwr.gov.cn/slgb/slgb1/201811/t20181121_3300137.html). – Дата доступа: 11.05.2020.
12. Бао Сяобинь. Комплексное управление окружающей средой речных бассейнов Китая / Бао Сяобинь // Китайская сельская экономика. – 2004. . – С. 15–16.
  13. Экономика природных ресурсов и экологии / Р. Перман, Ю. Ма, Дж. Макгилври [и др.]. – Пекин : China Economic Press, 2002.
  14. Го Пэйчжан. Пример комплексного освоения китайских и зарубежных речных бассейнов / Го Пэйчжан, Сун Цюнь. – Пекин : China Planning Press, 2001.
  15. Го Шэнлянь. Исследования и прогресс по вопросам воды / Го Шэнлянь. – Hubei Science and Technology Press, 2003.
  16. Группа по составлению требований к системе экологического менеджмента. Система экологического менеджмента Китая. – Пекин : China Environmental Science Press, 1991.
  17. Сунь Гуаншен. Управление водными ресурсами Хуанхэ / Сунь Гуаншен, Цяо Сясянь, Сунь Шоусун. – Чжэнчжоу : Ресурсы р. Хуанхэ, 2001.
  18. У Синьму. Средние и верхние течения реки Янцзы и устойчивое развитие Среднего Запада Китая / У Синьму. – Ухань : Изд-во Уханьского ун-та, 2002.
  19. Фэнг Шаню. Введение в устойчивое использование и управление водными ресурсами / Фэнг Шаню. – Пекин : Science Press, 2002.
  20. Ху Чжэньпэн. Распределение и управление имуществом водных ресурсов / Ху Чжэньпэн, Фу Чунь, Ван Сяньцзя. – Пекин : Science Press, 2003.
  21. Цуй Янсонг. Управление водным рынком Китая / Цуй Янсонг. – Чжэнчжоу : Ресурсы р. Хуанхэ, 2003.
  22. Разумное распределение и оптимальное планирование водных ресурсов в бассейне Хуанхэ [Электронный ресурс] / Чан Биньян [и др.]. – Режим доступа: <http://item.kongfz.com/book/45921020.html>. – Дата доступа: 15.07.2020.
  23. Чэнь Цзяци. Водные ресурсы [Электронный ресурс] / Чэнь Цзяци, Ван Хао, Ян Сяолю. – Режим доступа: [http://202.119.248.55/bookplus/item.php?marc\\_no=0000184077](http://202.119.248.55/bookplus/item.php?marc_no=0000184077). – Дата доступа: 15.02.2020.

### References

1. Zhang Xiuqing, Wang Yahua. A review of studies on adaptation of China's water resources management to climate change, Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015. Available at: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFQ&dbname=CJFDLAST2016&filename=CJLY201512009&v=MTc2MTZyV00xRnJDVV13cWZZT1J1Rml2a1Y3L01KaWZlZDhNEg5VE5yWTIGYIISOGVYMUx1eFITN0RoMVQzcVQ=> (accessed 14 September 2019).
2. Hong Zhang, Gui Jin and Yan Yu. Review of River Basin Water Resource Management in China, Water 2018, 10, 425. Available at: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/4/425> (accessed 26 June 2020).
3. Zhang Hongbo, Lan Tian. Research on Water Resources Management of Plain District and County Based on ET Control, Journal of Hydraulic Engineering, 2016, Vol. 02. Available at: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFQ&dbname=CJFDLAST2016&filename=SLXB201602001&v=MjQ3OTFNclk5RlpZUjhIWDFMdXhZUzdEaDFUM3FUcldnMUZyQ1VSN3FmWU9SdUZpamhXN3JJTmlIVGJMRzRIOWY=> (accessed 26 June 2020).
4. Liu Yujie, Liu Junguo, Evaluation of Water Resources Vulnerability in Beijing-Tianjin-Hebei Region, Bulletin of Soil and Water Conservation, 2016, Vol 03. Available at: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFQ&dbname=CJFDLAST2016&filename=STTB201603036&v=MTcwMzF1Rml2a1VMdkFOam5mYkxHNEg5Zk1ySTIHWW9SOGVYMUx1eFITN0RoMVQzcVRyV00xRnJDVV13cWZZT1I=> (accessed 11 May 2020).
5. Wu Xinmu, Ren Junlin. Two-level model of water resources allocation based on uncertainty and its empirical study, Acta Scientiae Circumstantiae, 2016, Vol 06. Available at: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFQ&dbname=CJFDLAST2016&filename=HJXX201606044&v=MzIzNDFTZIRkckc0SDImTXFZOUJZSVI4ZVgxTHV4WVM3RGgxVDNxVHJXTTFGckNVUjdxZIIPUnVGaXZrVzcvQk5pYIRaTEc0SHRiTJZOUVab1I4ZVgxTHU=> (accessed 12 February 2020).
6. Zhang Jianming, He Ruiming, Re-understanding of Water Resources in China, Advances in Water Science, 2017, vol. 03, pp. 25–27.
7. Zhang Jianyun. Urbanization and the problems faced by urban hydrology. Hydro-Science and Engineering 2015, vol. 03, pp. 96–99.
8. Wang Guoqin, Jin Junliang. Research on Response Characteristics of Runoff in Liaohe River Basin to Climate Change. Advances in Earth Science, 2017, vol. 04, pp. 12–17.
9. Wang Jinxin, Li Jianyun. Change trend of annual runoff distribution in six major river basins in China in the past 50 years. Advances in Water Science, 2007, vol. 02. Available at: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbcode=CJFQ&dbname=CJFD2007&filename=SKXJ200702012&v=MDE3NjV4WVM3RGgxVDNxVHJXTTFGckNVUjdxZIIPUnVGaXZrVzcvQk5pYIRaTEc0SHRiTJZOUVab1I4ZVgxTHU=> (accessed 11 May 2020).
10. Tian W., Li X., Cheng G.-D., Wang X.-S., Hu B. X., Coupling a groundwater model with a land surface model to improve water and energy cycle simulation [J]. Hydrology and Earth System Sciences, 2012, vol. 165, pp. 35–36.
11. Byulleten' vodnyh resursov provincii Guizhou 2017 g. [Guizhou province water resources Bulletin]. Available at: [http://www.gzmwr.gov.cn/slgb/slgb1/201811/t20181121\\_3300137.html](http://www.gzmwr.gov.cn/slgb/slgb1/201811/t20181121_3300137.html) (accessed 12 February 2020) (in Russian)
12. Bao Syabin'. Kompleksnoe upravlenie okruzhayushchey sredoj rechnyh bassejnov Kitaya. Kitajskaya sel'skaya ekonomika [Integrated environmental management of China's river basins. Chinese rural economy], 2004, pp. 15–16. (in Russian)

13. Perman R., Ma Y., McGilvray J. [et al.]. *Ekonomika prirodnih resursov i ekologii* [Economics of natural resources and ecology]. Pekin, China Economic Press, 2002. (in Russian)
14. Go Pejdjan', Cun Ciun'. *Primer kompleksnogo osvoenij kitajskikh i zarubegnyh recznyh bassejnov* [Example of integrated development of Chinese and foreign river basins]. Pekin, China Planning Press, 2001. (in Russian)
15. Go Shenlan'. *Issledovaniy i progress po voprociam vody*. [Research and progress on water]. Hubei Science and Technology Press, 2003. (in Russian)
16. *Gruppa po sostavleniju trebovanij k sisteme ekologichnogo menedjmenta. Sistema ekologichnogo menedjmenta Kitaya* [Group for drawing up requirements for the environmental management system. The environmental management system of China]. Pekin, Environmental Science Press, 1991. (in Russian)
17. Sun' Guanchen', Cjo Sjcjn', Sun' Sousun'. *Upravlenie vodnymi resursami Huanhe* [Water resources management of the yellow river]. Chjenchjou, Resursy r. Huanhe Publ., 2001. (in Russian)
18. U Sin'mu. *Srednie i verhnje techenij reki Jnczy i ustojchivoe razvitiye Srednego i Zapadnogo Kitaja* [Middle and upper reaches of the Yangtze river and the sustainable development of China's Midwest]. Wuhan University Publ., 2002. (in Russian)
19. Feng Zhanu. *Vvedenie v ustojchivoe ispolzovanie i upravlenie vodnymi resursami* [Introduction to sustainable use and management of water resources]. Pekin, Science Press, 2002. (in Russian)
20. Hu Chgenpen, Fu Chun', Van Sjn'czj. *Raspredelenie i upravlenie imuchestvom vodnyh resursov* [Distribution and management of water resources assets]. Pekin, Science Press, 2003. (in Russian)
21. Cuj Jansong. *Upravlenie vodnym rynekom Kitaja* [The Department of water China market]. Chjenchjou, Resursy r. Huanhe Publ., 2003. (in Russian)
22. Chan Binjin, Siu Sunguij [et al.]. *Razumnoe raspredelenie i optimalnoe planirovanie vodnyh resursov v bassejne Huanhe*. [Reasonable allocation and optimal planning of water resources in the yellow river basin]. Available at: <http://item.kongfz.com/book/45921020.html> (accessed 15 July 2020). (in Russian)
23. Chen' Czjci, Van Hao, Jan Sjoliu. *Vodhye resursy*. [Water resources]. Available at: [http://202.119.248.55/bookplus/item.php?marc\\_no=0000184077](http://202.119.248.55/bookplus/item.php?marc_no=0000184077) (accessed 15 February 2020). (in Russian)

#### Информация об авторах

*Van Xao* – аспирант, Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 20, 220050, Минск, Беларусь). E-mail: vamkhao@gmail.com

*Лопух Пётр Степанович* – доктор географических наук, профессор, Белорусский государственный университет (ул. Ленинградская, 20, 220050, Минск, Беларусь). E-mail: lopuch49@mail.ru

#### Information about the authors

*Van Kha* – Graduate Student, Belarusian State University (20, Leningradskaya Str., 220006, Minsk, Belarus). E-mail: vamkhao@gmail.com

*Petr S. Lopuch* – D. Sc. (Geography), Professor, Belarusian State University (20, Leningradskaya Str., 220006, Minsk, Belarus). E-mail: lopuch49@mail.ru

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2020-2-64-76>

УДК 551.8(476.7)

Поступила в редакцию 15.09.2020

Received 15.09.2020

## ЛАНДШАФТЫ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ В КЛИМАТИЧЕСКОМ ОПТИМУМЕ МУРАВИНСКОГО МЕЖЛЕДНИКОВЬЯ

Т. Б. Рылова, А. В. Матвеев, А. В. Шидловская

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

**Аннотация.** С использованием палеогеоморфологической схемы, составленной по материалам изучения разрезов буровых скважин, сведений о составе флоры и характере растительности самой теплой фазы муравинского межледникова, полученных по результатам палинологических исследований, выполнена реконструкция палеоландшафтов этого этапа геологической истории восточной части Белорусского Полесья.

**Ключевые слова:** Белорусское Полесье; муравинское межледниково; палеогеоморфологическая схема; палинофлора; растительность; палеоландшафты.

**Для цитирования.** Рылова Т. Б., Матвеев А. В., Шидловская А. В. Ландшафты восточной части Белорусского Полесья в климатическом оптимуме муравинского межледникова // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 64–76.

## LANDSCAPES OF THE BELARUSIAN POLESIE EASTERN AREA DURING THE CLIMATIC OPTIMUM OF THE MURAVIAN INTERGLACIAL

Т. В. Rylova, A. V. Matveyev, A. V. Shidlovskaya

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

**Abstract.** The paleolandscapes existed in the eastern area of the Belarusian Polesie region during the climatic optimum of the Muravian Interglacial were reconstructed.

This work was based on the paleogeomorphological chart compiled with the core data of boreholes located in the investigation area, the composition of sediments, an approximate depth to the groundwater table, as well as on the evidences of the flora and vegetation in the warmest phase of the Muravian Interglacial obtained as a result of the palynological studies of the relevant sediments.

The data available suggest that the flat landscapes of the temperate continental broad-leaved forest type existed in the investigation area at that time. This type landscapes are divided into 6 groups including 14 kinds and 10 varieties.

The represented chart of the paleolandscapes reflects an absolute predominance of the broad-leaved forests, but in contrast to the western part of the Belarusian Polesie with a lesser participation of the West European species peculiar to the areas with the warmer oceanic climate.

The completed reconstructions can be used to forecast the possible future landscape changes on the Belarusian Polesie region under the global warming conditions, which can exceed the parameters of the Holocene climatic optimum and reach the climax of the Muravian interglacial.

**Keywords:** Belarusian Polesie; Muravian Interglacial; paleomorphological chart; palynoflora; vegetation; paleolandscapes.

**For citation.** Rylova T. B., Matveyev A. V., Shidlovskaya A. V. Landscapes of the Belarusian Polesie eastern area during the climatic optimum of the Muravian interglacial. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 64–76.

Заметная активизация природных и природно-техногенных процессов, оказывающих значительное влияние на экологическую обстановку и нередко наносящих значительный ущерб экономике, вызывает необходимость детального изучения эволюции (трансформации) природных комплексов. Это одна из наиболее сложных и актуальных задач, над которыми работают исследователи научных центров многих стран. Особое внимание уделяется тем регионам, которые испытывают наибольший значительный техногенный пресс. В нашей стране к числу таких регионов относится Белорусское Полесье. Именно поэтому с 2016 г. начаты исследования по проблеме эволюции полесских ландшафтов. На первом этапе изучение направленности изменения природных обстановок в муравинское и голоценовое время выполнено на территории Брестского Полесья в позднеплейстоценовое и голо-

ценовое время с целью районирования территории по степени экологической безопасности» ГПНИ «Природопользование и экология» (2016–2018) [1–4 и др.].

В настоящей статье приведены результаты последующих работ, выполненных в соответствии с заданием 1.21 «Исследование эволюции ландшафтов территории восточной части Белорусского Полесья в муравинское и голоценовое время с целью районирования территории по степени экологической безопасности» ГПНИ «Природопользование и экология» (2019–2020 гг.).

Реконструкция палеоландшафтов, существовавших на территории восточной части Белорусского Полесья в климатическом оптимуме муравинского межледникова, основана на данных о палеогеографических особенностях территории в муравинское время [5–10 и др.], палеогеоморфологической схеме М 1:500 000, составленной по материалам изучения разрезов скважин, расположенных в районе исследований, а также сведениях о составе флоры и характере растительности в самой теплой фазе муравинского межледникова, полученных в результате палинологических исследований геологических разрезов, расположенных в восточной части Белорусского Полесья и соседних районах России и Украины [5, 6, 11–15 и др.].

При выявлении особенностей распространения растительности в зависимости от экологических факторов (приуроченности к определенным типам рельефа, особенностям подстилающих пород, различной степени увлажнения) предполагалось, что особенности формирования ландшафтов муравинского времени были сходны с современными [16–18]. Согласно полученным данным, самому теплому времени климатического оптимума муравинского межледникова на территории исследований отвечает фаза тг 4 *Corylus–Quercus–Tilia–Fraxinus*, когда там произрастали преимущественно широколистственные дубово-лещиновые, дубово-липовые, реже дубово-грабовые леса со значительной примесью вяза, клена, лещины, калины, бересклета и др. Пониженные и более увлажненные места занимали дубравы ольхово-пойменные. Значительное развитие формаций из ольхи черной свидетельствует о широком распространении заболоченных ландшафтов.

На рисунке представлена схема палеоландшафтов восточной части Белорусского Полесья в оптимуме муравинского межледникова.

Выполненная реконструкция показала, что территория восточной части Белорусского Полесья в климатическом оптимуме муравинского времени относилась к классу равнинных ландшафтов, умеренно-континентальному широколистенно-лесному типу. Данный тип подразделен на 6 родов, в составе которых выделены 14 видов и 10 подвидов ландшафтов.

### I. Грядово-холмистые и грядово-холмисто-увалистые лесные ландшафты на песчано-гравийных отложениях с прослойями супеси и суглинка (включают 4 вида и 2 подвида)

#### I.1. Грядово-холмистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод ниже 5 м, со смешанными сосново-дубовыми лесами с участием липы, граба, лещины, с редким подлеском из кустарников

Данные ландшафты были распространены в крайней северо-западной части территории исследований, где занимали повышенные, всхолмленные местоположения. Произрастали смешанные, преимущественно сосново-дубовые леса, в которых главная роль принадлежала дубу черешчатому (*Quercus robur* L.), встречались дуб скальный (*Quercus petraea* Liebl.) и дуб пушистый (*Quercus pubescens* Willd.). В состав древостоя входила сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), реже липа, представленная несколькими видами (липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.), липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos* Scop.), липа серебристая (*T. tomentosa* Moench)), граб обыкновенный (*Carpinus betulus* L.), лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.). В подлеске присутствовали редкие кустарники, в том числе бересклет европейский (*Euonymus europaea* L.).

#### I.2. Грядово-холмистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод выше 5 м, с дубравами грабовыми, с участием липы, лещины, клена, рябины, подлеском из калины, бересклета, крушины и др.

Эти ландшафты также распространены в северо-западной части территории исследований. Лесная растительность была представлена дубравами грабовыми, в которых главную роль играл дуб, в основном дуб черешчатый (*Quercus robur*), реже встречались дуб скальный (*Quercus petraea*), дуб пушистый (*Quercus pubescens*), заметное участие в составе леса принимал граб обыкновенный (*Carpinus betulus*), реже произрастали липа сердцевидная (*Tilia cordata*), липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos*) и липа серебристая (*T. tomentosa*), лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), клен платановидный (*Acer platanoides* L.) и клен полевой (*Acer campestre* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.). Подлесок создавали бересклет европейский (*Euonymus europaea* L.), крушина ольховидная (*Fragaria alnus* Mill.), калина обыкновенная (*Viburnum opulus* L.) и другие кустарники.

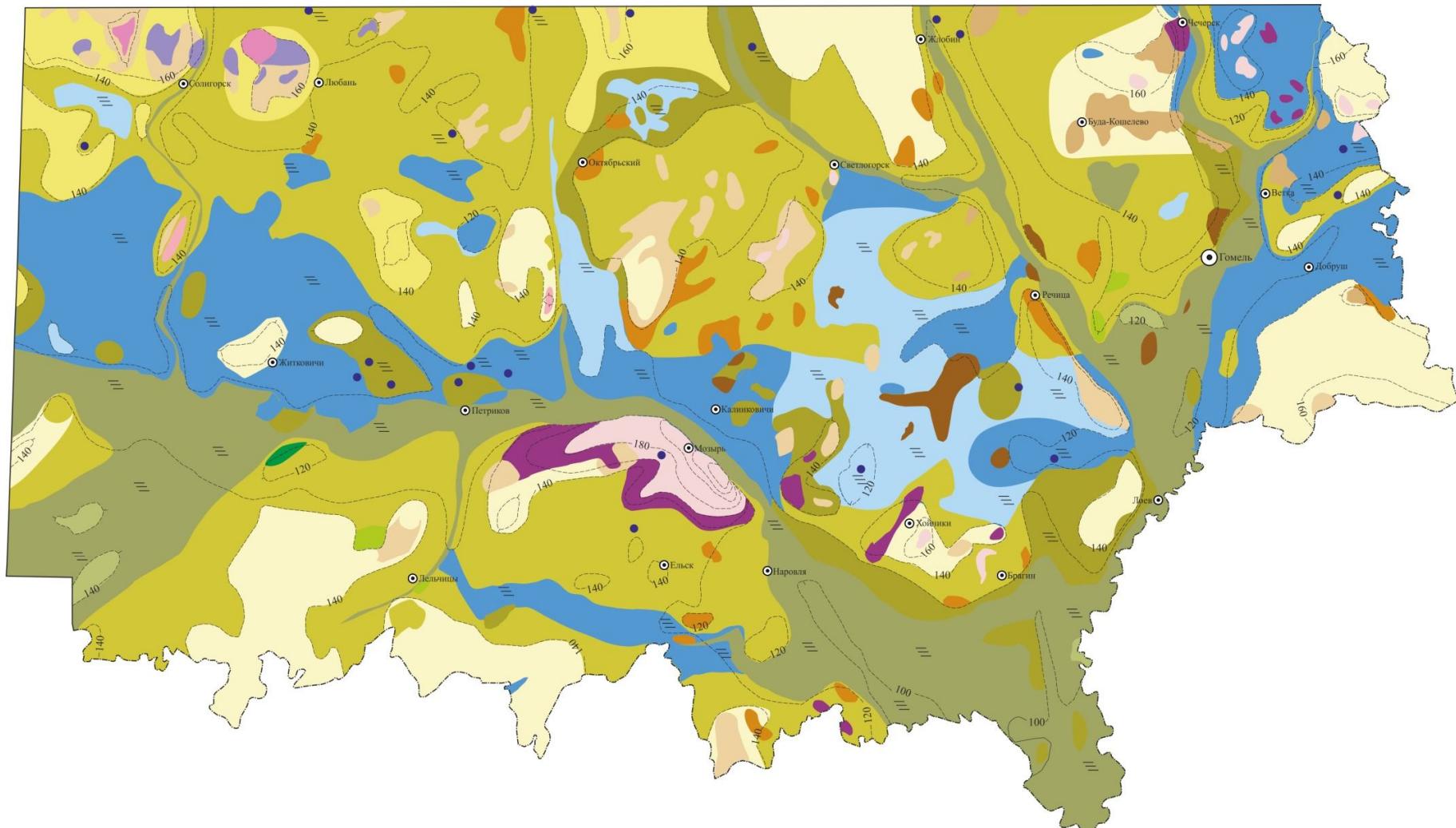


Схема палеоландшафтов восточной части Белорусского Полесья в оптимуме муравинского межледникового

Scheme of paleolandscapes of the eastern part of the Belarusian Polesie Area in the climatic optimum of the Muravian Interglacial

**Условные обозначения:****Legend:****I. Грядово-холмистые и грядово-холмисто-увалистые лесные ландшафты на песчано-гравийных отложениях с прослойями супеси и суглинка****I. Ridged hilly and ridged and undulating hilly forest landscapes on sand and gravel deposits with interlayers of sandy loam and loam**

-  I.1 грядово-холмистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод ниже 5 м, со смешанными сосново-дубовыми лесами с участием липы, граба, лещины, с редким подлеском из кустарников  
ridged hilly landscapes with a depth to the groundwater table more than 5 m, with mixed pine and oak forests and participation of lime, hornbeam, hazel, with a rare shrub undergrowth
-  I.2 грядово-холмистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод выше 5 м, с дубравами грабовыми, с участием липы, лещины, клена, рябины, подлеском из калины, бересклета, крушины и др.  
ridged hilly landscapes with a depth to the groundwater table less than 5 m, with the oak and hornbeam forests and with the participation of lime, hazel, maple, rowan, undergrowth of viburnum, euonymus, buckthorn, etc.
-  I.3 грядово-холмисто-увалистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод ниже 5 м, с суходольными дубравами с участием лещины и дубравами грабовыми с участием лещины, липы, подлеском из кустарников  
ridged and undulating hilly landscapes with a depth to the groundwater table more than 5 m, with the dry oak forests and participation of hazel and with the oak and hornbeam forests and participation of hazel, lime and shrub undergrowth
-  I.3a грядово-холмисто-увалистые ландшафты с суходольными дубравами, с участием лещины и редкой примесью липы, клена, крушины, калины и др.  
ridged and undulating hilly landscapes with dry oak forests with the participation of hazel and a rare admixture of lime, maple, buckthorn, viburnum, etc.
-  I.3b грядово-холмисто-увалистые ландшафты с дубравами грабовыми с участием лещины, липы, подлеском из калины, крушины, бирючины и др.  
ridged and undulating hilly landscapes with hornbeam and oak forests with the participation of hazel, lime, undergrowth of viburnum, buckthorn, privet, etc.
-  I.4 грядово-холмисто-увалистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод выше 5 м, с дубравами, с заметной примесью липы, клена, лещины, изредка граба, рябины, подлеском из бересклета, крушины и др.  
ridged and undulating hilly landscapes with a depth to the groundwater table less than 5 m, with oak forests, with a noticeable admixture of lime, maple, hazel, rarely hornbeam, rowan, undergrowth of euonymus, buckthorn, etc.

**II. Пологоволнистые, местами мелкохолмистые и мелкоувалистые лесные ландшафты на моренных супесях и суглинках****II. Gently undulating, sometimes hummocky forest landscapes on moraine sandy loam and loam**

- II.1 пологоволнистые, мелкохолмистые и мелкоувалистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод ниже 2 м, с широколиственными, преимущественно липовыми лесами с примесью дуба, граба, вяза, клена и липово-дубовыми лесами со значительным участием граба, вяза, клена, лещины  
gently undulating, hummocky landscapes with a depth to the groundwater table more than 2 m, with broad-leaved, predominantly lime forests with an admixture of oak, hornbeam, elm, maple and lime and oak forests with significant participation of hornbeam, elm, maple, hazel
-  II.1a пологоволнистые, мелкохолмистые и мелкоувалистые ландшафты с широколиственными лесами, преимущественно липовыми, с небольшой примесью дуба, граба, вяза, клена, лещины, с калиной, черемухой, крушиной в подлеске.  
gently undulating, hummocky landscapes with broad-leaved, predominantly lime forests, with an insignificant admixture of oak, hornbeam, elm, maple, hazel, and the undergrowth of viburnum, bird cherry, buckthorn

- II.16** пологоволнистые, мелкохолмистые и мелкоувалистые ландшафты с липово-дубовыми лесами со значительным участием граба, вяза, клена, ясения, лещины, ольхи, подлеском из крушины, бересклета, калины и др.  
gently undulating, hummocky landscapes with lime and oak forests with significant participation of hornbeam, elm, maple, ash, alder, underbrush of buckthorn, euonymus, viburnum, etc.
- II.2** пологоволнистые, мелкохолмистые и мелкоувалистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод менее 2 м, с дубравами с примесью широколиственных пород и ольхи, с дубово-ясеневыми и дубово-черноольхово-ясеневыми лесами  
gently undulating, hummocky landscapes with a depth to the groundwater table less than 2 m, with oak forests with an admixture of broad-leaved species and alder, oak and ash, and oak, black alder and ash forests
- II.2.a** пологоволнистые, иногда мелкохолмистые и мелкоувалистые ландшафты с дубравами, с участием широколиственных пород: ясения, клена, граба, липы, лещины, а также ольхи, с подлеском из крушины, бересклета и др.  
gently undulating, sometimes hummocky landscapes with oak forests, with the participation of broad-leaved species: ash, maple, hornbeam, lime, hazel, alder, with undergrowth of buckthorn, euonymus, etc.
- II.2.6** пологоволнистые сильно увлажненные ландшафты с дубово-ясеневыми и дубово-черноольхово-ясеневыми лесами, с примесью других широколиственных пород  
gently undulating heavily wetted landscapes with oak and ash, oak, black alder and ash forests with an admixture of other broad-leaved species

### **III. Пологоволнистые, изредка мелкохолмистые лесные ландшафты на флювиогляциальных разнозернистых песках**

#### **III. Gently undulating, sometimes hummocky forest landscapes on fluvioglacial variegated sands**

- III.1** пологоволнистые, изредка мелкохолмистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод ниже 2 м, с широколиственными лещиново-дубовыми лесами с примесью граба, вяза, клена, а также с хвойно-широколиственными сосново-дубовыми лесами с участием липы, граба, клена, вяза, лещины, ольхи  
gently undulating, sometimes hummocky landscapes with a depth to the groundwater table more than 2 m, with broad-leaved hazel and oak forests with an admixture of hornbeam, elm, maple, and mixed pine and oak forests with participation of lime, hornbeam, maple, elm, hazel, alder
- III.1a** пологоволнистые, изредка мелкохолмистые ландшафты с широколиственными лещиново-дубовыми лесами с участием липы, граба, вяза и клена, с кустарниками в подлеске  
gently undulating, sometimes hummocky landscapes with broad-leaved hazel and oak forests with lime, hornbeam, elm and maple, with shrubs undergrowth
- III.16** пологоволнистые, изредка мелкохолмистые ландшафты с хвойно-широколиственными сосново-дубовыми лесами, с участием граба, лещины, липы, вяза, клена и др.  
gently undulating, sometimes hummocky landscapes with mixed pine and oak forests with the participation of hornbeam, hazel, lime, elm, maple, etc.
- III.2.** пологоволнистые, изредка мелкохолмистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод менее 2 м, с дубово-лещиновыми лесами с участием других лиственных пород, а также с черноольховыми фитоценозами и низинными болотами с залеганием грунтовых вод вблизи земной поверхности  
gently undulating, sometimes hummocky landscapes with a depth to the groundwater table less than 2 m, with oak and hazel forests with the participation of other deciduous species, and black alder phytocenoses and lowland bogs with the groundwater occurring near the earth's surface
- III.2a** пологоволнистые, изредка мелкохолмистые ландшафты с дубово-лещиновыми лесами, с примесью других лиственных пород (граба, ясения, клена, вяза, рябины и др.)  
gently undulating, sometimes hummocky landscapes with oak and hazel forests, with an admixture of other deciduous species (hornbeam, ash, maple, elm, rowan, etc.)
- III.26** пологоволнистые ландшафты с глубиной залегания грунтовых вод вблизи земной поверхности (менее 1 м), с черноольховыми фитоценозами и низинными болотами  
gently undulating landscapes with the groundwater occurring near the earth's surface (less than 1 m), with black alder phytocenoses and lowland bogs

**IV. Плоские лесные ландшафты на озерно-ледниковых суглинках и глинах****IV. Flat forest landscapes on the lacustrine-glacial loams and clays**

- IV.1** плоские ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод менее 2 м, с дубово-ясеневыми лесами с примесью клена, липы, ольхи, осины, с подлеском из бузины, крушины, калины и др.  
flat landscapes with a depth to the groundwater table less than 2 m, with oak and ash forests with an admixture of maple, lime, alder, aspen, with undergrowth of elder, buckthorn, viburnum, etc.
- IV.2** плоские ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод до 1 м, с широколиственно-черноольховыми (дубово-ясенево-черноольховыми) лесами, с подлеском из крушины, калины и других кустарников, а также с верховыми и переходными болотами  
flat forest landscapes with a depth to the groundwater table less than 1 m, with broad-leaved and black alder (oak, ash and black alder) forests, with undergrowth of buckthorn, viburnum and other shrubs, and upland and transitional bogs

**V. Плоские и пологоволнистые лесные ландшафты на озерно-аллювиальных песках и супесях****V. Flat and gently undulating forest landscapes on the lacustrine-alluvial sands and sandy loams**

- V.1** плоские и пологоволнистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод более 1 м, с дубовыми лесами с примесью ясения, вяза, лещины, осины, ольхи, с подлеском из крушины, бересклета и др.  
flat and gently undulating landscapes with a depth to the groundwater table more than 1 m, with oak forests with an admixture of ash, elm, hazel, aspen, alder, with undergrowth of buckthorn, euonymus, etc.
- V.2** плоские и пологоволнистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод менее 1 м, с ясенево-черноольховыми лесами с участием осины, ивы, с подлеском из кустарников, местами с низинными травянистыми болотами  
flat and gently undulating landscapes with a depth to the groundwater table less than 1 m, with ash and black alder forests with the participation of aspen, willow, and undergrowth of shrubs, sometimes with lowland grassy bogs

**VI. Плоские лесные ландшафты на аллювиальных песках и супесях****VI. Flat forest landscapes on the alluvial sands and sandy loams**

- VI.1** плоские пойменные ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод более 1 м, с дубравами ольхово-пойменными, с подлеском из бересклета, крушины и других кустарниковых пород  
flat floodplain landscapes with a depth to the groundwater table more than 1 m, with alder and floodplain oak forests, with undergrowth of euonymus, buckthorn and other shrubs
- VI.2** плоские пойменные ландшафты с залеганием грунтовых вод вблизи земной поверхности, с черноольховыми лесами, местами разнотравно-осоковыми лугами и низинными болотами  
flat floodplain landscapes with the groundwater occurring near the earth's surface, with black alder forests, sometimes forb-sedge meadows and lowland bogs

**Прочие обозначения****Other designations**

- котловины озер  
lake basins
- Гомель  
Гомель
- заболоченность  
waterlogging
- изогипсы  
isohypes

**I.3. Грядово-холмисто-увалистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод ниже 5 м, с суходольными дубравами с участием лещины и дубравами грабовыми с участием лещины, липы, подлеском из кустарников**

*I.3a.* – Грядово-холмисто-увалистые ландшафты с суходольными дубравами, с участием лещины и редкой примесью липы, клена, крушины, калины и др. Распространены, главным образом, в центральной части региона исследований, где приурочены к Мозырской возвышенности, а также местами в северо-восточной части территории. Здесь на почвах, получающих влагу только из атмосферных осадков, произрастали дубравы, в которых преобладал дуб черешчатый (*Quercus robur*), присутствовали дуб скальный (*Quercus petraea*) и дуб пушистый (*Quercus pubescens*). Заметное участие в составе лесов принимала лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), незначительную примесь составляли липа (чаще липа сердцевидная – *Tilia cordata* и липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos*), реже липа серебристая (*T. tomentosa*)), клен платановидный (*Acer platanoides*) и клен полевой (*Acer campestre*). В подлеске произрастали крушина ольховидная (*Frangula alnus*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*), бересклет европейский (*Euonymus europaea*) и другие кустарники. Такие дубравы могли иметь сходство с современными дубравами орляково-черничными, произрастающими в Полесье на повышенных ровных или всхолмленных элементах рельефа [16], однако отличались от них отсутствием граба либо крайне редким его участием.

*I.3b.* Грядово-холмисто-увалистые ландшафты с дубравами грабовыми с участием лещины, липы, подлеском из калины, крушины, бирючины и др.

Такие ландшафты представлены на незначительных площадях в центральной и западной частях региона исследований. Здесь произрастали преимущественно дубравы грабовые с участием лещины (*Corylus avellana*), изредка липы сердцевидной (*Tilia cordata*), липы крупнолистной (*Tilia platyphyllos*) и липы серебристой (*Tilia tomentosa*), в формировании которых заметную роль играл граб обыкновенный (*Carpinus betulus*). Подлесок образовывали калина обыкновенная (*Viburnum opulus*), крушина ольховидная (*Frangula alnus*) и другие кустарники. Такие леса, вероятно, были сходны с современными суходольными дубравами полесского типа, занимающими повышенные, всхолмленные участки рельефа.

**I.4. Грядово-холмисто-увалистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод выше 5 м, с дубравами, с заметной примесью липы, клена, лещины, изредка граба, рябины, подлеском из бересклета, крушины и др.**

Распространены большей частью в пределах Мозырской гряды, а также сравнительно небольшими участками в северо-восточной и юго-восточной частях территории исследований. Лесная растительность была представлена дубравами, в которых основную роль играл дуб черешчатый (*Quercus robur*), изредка встречались дуб скальный (*Quercus petraea*) и дуб пушистый (*Quercus pubescens*). Заметную примесь создавали липа сердцевидная (*Tilia cordata*), липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos*) и липа серебристая (*T. tomentosa*), клен платановидный (*Acer platanoides*) и клен полевой (*Acer campestre*), лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), изредка присутствовали граб (*Carpinus betulus*) и рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*). В подлеске произрастали такие кустарниковые породы, как бересклет европейский (*Euonymus europaea*), крушина ольховидная (*Frangula alnus*) и др.

**II. Пологоволнистые, местами мелкохолмистые и мелкоувалистые лесные ландшафты на моренных супесях и суглинках** (включают 2 вида и 4 подвида)

**II.1. Пологоволнистые, мелкохолмистые и мелкоувалистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод ниже 2 м, с широколиственными, преимущественно липовыми лесами с примесью дуба, граба, вяза, клена и липово-дубовыми лесами со значительным участием граба, вяза, клена, лещины**

*II.1a* – пологоволнистые, мелкохолмистые и мелкоувалистые ландшафты с широколиственными лесами, преимущественно липовыми, с небольшой примесью дуба, граба, вяза, клена, лещины, с калиной, черемухой, крушиной в подлеске.

Такие ландшафты выделены, главным образом, в междуречьях Пра-Птичи – Пра-Березины–Пра-Припяти и локальными участками по всей территории исследований. На почвах, подстилаемых супесями или суглинками, в пределах повышенных, достаточно увлажненных и хорошо дренированных участков [19–21] произрастали широколиственные преимущественно липовые леса (липа сердцевидная (*Tilia cordata*), липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos*), реже липа серебристая (*Tilia tomentosach*) со значительной примесью дуба черешчатого (*Quercus robur*), изредка дуба скального (*Q. petraea*) и дуба пушистого (*Q. pubescens*), граба обыкновенного (*Carpinus betulus*), вяза гладкого (*Ulmus laevis Pall.*), вяза полевого (*Ulmus minor Mill.*), клена платановидного (*Acer platanoides*) и клена полевого (*Acer campestre*), лещины обыкновенной (*Corylus avellana*). Подлесок создавали калина

обыкновенная (*Viburnum opulus*), черемуха обыкновенная (*Prunus padus* L.), крушина ольховидная (*Frangula alnus*).

**II.16 – пологоволнистые, мелкохолмистые и мелкоувалистые ландшафты с липово-дубовыми лесами со значительным участием граба, вяза, клена, ясения, лещины, ольхи, подлеском из крушины, бересклета, калины и др.**

Данные ландшафты выделены на территории северо-восточной части Белорусского Полесья. На почвах, подстилаемых супесями или суглинками, произрастали широколиственные, преимущественно дубовые и дубово-липовые леса, в которых главную роль играли дуб черешчатый (*Quercus robur*), реже дуб скальный (*Q. petraea*), дуб пушистый (*Q. pubescens*) и липа (липа сердцевидная (*Tilia cordata*), липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos*), липа серебристая (*Tilia tomentosa*)). В состав этих лесов входили и такие лиственные породы, как вяз гладкий (*Ulmus laevis*), вяз полевой (*Ulmus minor*), граб обыкновенный (*Carpinus betulus*), клен платановидный (*Acer platanoides*) и клен полевой (*Acer campestre*), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*), ольха серая (*Alnus incana* (L.) Moench), лещина обыкновенная (*Corylus avellana*). Обильный подлесок создавали крушина ольховидная (*Frangula alnus*), бересклет европейский (*Euonymus europaea*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*). Состав лесов, вероятно, имел сходство с современными полесскими дубравами смытево-кисличного типа, фитоценозы которых формируются в условиях равнинного рельефа на свежих и влажных почвах, подстилаемых суглинком и глиной [16].

**II.2. Пологоволнистые, мелкохолмистые и мелкоувалистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод менее 2 м, с дубравами с примесью широколиственных пород и ольхи, с дубово-ясеневыми и дубово-черноольхово-ясеневыми лесами**

**II.2.а – пологоволнистые, иногда мелкохолмистые и мелкоувалистые ландшафты с дубравами, с участием широколиственных пород: ясения, клена, граба, липы, лещины, а также ольхи, с подлеском из крушины, бересклета и др.**

Ландшафты представлены преимущественно в центральной части региона исследований и локальными участками выделены по всей территории восточной части Белорусского Полесья. Здесь на пониженных склонах и ровных участках с суглинистыми почвами в достаточно увлажненных местах могли произрастать дубравы с небольшой примесью ясения обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.), клена платановидного (*Acer platanoides*) и клена полевого (*A. campestre*), липы (липа сердцевидная (*Tilia cordata*), реже липа крупнолистная (*T. platyphyllos*) и липа серебристая (*Tilia tomentosa*)), граба обыкновенного (*Carpinus betulus*), ольхи черной (*A. glutinosa* (L.) Gaertn.). В подлеске селились бересклет европейский (*Euonymus europaeus*), крушина ольховидная (*Frangula alnus*), черемуха обыкновенная (*Prunus padus*), смородина черная (*Ribes nigrum* L.) и другие кустарники. Леса такого состава, возможно, имели сходство с дубравами папоротниково-крапивными, которые в Полесье в настоящее время произрастают на сырьих, хорошо проточных местах вблизи ольсов [16].

**II.2.б – пологоволнистые сильно увлажненные ландшафты с дубово-ясеневыми и дубово-черноольхово-ясеневыми лесами, с примесью других широколиственных пород.**

На территории исследований такие ландшафты занимали наибольшие площади в междуречье Пра-Припяти и Пра-Днепра и восточнее в долине Пра-Сожа и были приурочены к пологоволнистым сильно увлажненным формам рельефа. Здесь произрастали дубово-ясеневые и дубово-черноольхово-ясеневые леса с доминирующей ролью ясения обыкновенного (*Fraxinus excelsior*), ольхи черной (*Alnus glutinosa*), реже ольхи серой (*Alnus incana*), с небольшой примесью дуба (*Quercus robur*), участием вяза гладкого (*Ulmus laevis*), вяза полевого (*Ulmus minor*), граба обыкновенного (*Carpinus betulus*), клена платановидного (*Acer platanoides*) и клена полевого (*Acer campestre*), липы сердцевидной (*Tilia cordata*), липы крупнолистной (*Tilia platyphyllos*) и рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*). В подлеске произрастали бересклет европейский (*Euonymus europaeus*), крушина ольховидная (*Frangula alnus*) и другие кустарники. Эти леса, возможно, имели сходство с современными дубово-ясеневыми и дубово-черноольхово-ясеневыми лесами Полесья.

**III. Пологоволнистые, изредка мелкохолмистые лесные ландшафты на флювиогляциальных разнозернистых песках (включают 2 вида и 4 подвида)**

**III.1. Пологоволнистые, изредка мелкохолмистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод ниже 2 м, с широколиственными лещиново-дубовыми лесами с примесью граба, вяза, клена, а также с хвойно-широколиственными сосново-дубовыми лесами с участием липы, граба, клена, вяза, лещины, ольхи**

**III.1.а – пологоволнистые, изредка мелкохолмистые ландшафты с широколиственными лещиново-дубовыми лесами с участием липы, граба, вяза и клена, с кустарниками в подлеске**

Данные ландшафты имели довольно широкое распространение на территории восточной части Белорусского Полесья, главным образом, в северной, северо-восточной и восточной частях, а также в пределах Лельчицкой равнины на юге, где были приурочены к наиболее возвышенным участкам

рельефа с хорошо дренированными, в меру увлажненными почвами. Здесь произрастали широколиственные лещиново-дубовые леса с дубом черешчатым (*Quercus robur*), изредка дубом скальным (*Quercus petraea*), с существенной примесью лещины обыкновенной (*Corylus avellana*), с участием липы сердцевидной (*Tilia cordata*), липы крупнолистной (*Tilia platyphyllos*), граба обыкновенного (*Carpinus betulus*), вяза гладкого (*Ulmus laevis*), вяза полевого (*Ulmus minor*), клена платановидного (*Acer platanoides*) и клена полевого (*Acer campestre*), ольхи серой (*Alnus incana*) и ольхи черной (*Alnus glutinosa*), с подлеском из бересклета европейского (*Euonymus europaeus*) и других кустарниковых пород.

**III.16 – пологоволнистые, изредка мелкохолмистые ландшафты с хвойно-широколиственными сосново-дубовыми лесами, с участием граба, лещины, липы, вяза, клена и др.**

Ландшафты были распространены в пределах флювиогляциальных песчаных равнин в северо-западной и северной частях региона исследований. Здесь произрастали смешанные хвойно-широколиственные, главным образом, сосново-дубовые леса с примесью граба обыкновенного (*Carpinus betulus*), липы сердцевидной (*Tilia cordata*) и липы крупнолистной (*Tilia platyphyllos*), клена платановидного (*Acer platanoides*) и клена полевого (*Acer campestre*), вяза гладкого (*Ulmus laevis*), вяза полевого (*Ulmus minor*), лещины обыкновенной (*Corylus avellana*) и других древесных пород.

**III.2. Пологоволнистые, изредка мелкохолмистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод менее 2 м, с дубово-лещиновыми лесами с участием других лиственных пород, а также с черноольховыми фитоценозами и низинными болотами с залеганием грунтовых вод вблизи земной поверхности**

**III.2a – пологоволнистые, изредка мелкохолмистые ландшафты с дубово-лещиновыми лесами, с примесью других лиственных пород (граба, ясения, клена, вяза, рябины и др.)**

Такие ландшафты имели широкое распространение на территории Полесья в пределах песчаных равнин с глубиной залегания грунтовых вод несколько менее 2 м. Здесь могли произрастать дубово-лещиновые леса, в которых основными эдификаторами были дуб черешчатый (*Quercus robur*) и лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), которая хорошо произрастает как при умеренном, так и при повышенном увлажнении почв (исключая застой воды и заболачивание). В составе этих лесов в виде примеси присутствовали другие широколиственные породы, такие как граб обыкновенный (*Carpinus betulus*), липа сердцевидная (*Tilia cordata*) и липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos*), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*), вяз гладкий (*Ulmus laevis*) и вяз полевой (*Ulmus minor*), клен платановидный (*Acer platanoides*) и клен полевой (*Acer campestre*), произрастали также рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*) и кустарники.

**III.2b – пологоволнистые ландшафты с глубиной залегания грунтовых вод вблизи земной поверхности (менее 1 м), с черноольховыми фитоценозами и низинными болотами**

Указанные ландшафты были широко распространены на юго-западе и юго-востоке территории исследований, где были приурочены к наиболее низким пологоволнистым формам рельефа с высоким уровнем залегания грунтовых вод (менее 1 м). Здесь на обводненных участках низинных болот с достаточной проточностью почвенно-грунтовых вод были распространены черноольховые (*Alnus glutinosa*) фитоценозы с крайне редкой примесью бересклеты (*Betula pubescens*) и ивы (*Salix*).

В настоящее время на территории Белорусского Полесья, в отличие от времени климатического оптимума муравинского межледникова, мелколиственные коренные леса на болотах представлены не только черноольховыми, но и пушистоберезовыми фитоценозами [16], широкое распространение имеют низинные гипново-осоковые болота, которые развиваются на обширных неглубоких понижениях, выстланных флювиогляциальными песками.

**IV. Плоские лесные ландшафты на озерно-ледниковых суглинках и глинах** (включают 2 вида)

**IV.1. Плоские ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод менее 2 м, с дубово-ясеневыми лесами с примесью клена, липы, ольхи, осины, с подлеском из бузины, крушины, калины и др.**

Такие ландшафты на суглинистых и глинистых почвах были распространены на небольших участках вблизи Лельчиц и Речицы, где занимали ровные участки рельефа или их склоны и подножия. Леса здесь были представлены широколиственными дубово-ясеневыми лесами с доминирующей ролью ясения обыкновенного (*Fraxinus excelsior*), заметным участием дуба черешчатого (*Quercus robur*), примесью клена платановидного (*Acer platanoides*) и клена полевого (*Acer campestre*), липы сердцевидной (*Tilia cordata*) и липы крупнолистной (*Tilia platyphyllos*), ольхи черной (*Alnus glutinosa*), осины (*Populus L.*), с подлеском из бузины обыкновенной (*Sambucus racemosa L.*), крушины ольховидной (*Frangula alnus*), калины обыкновенной (*Viburnum opulus*), ивы (*Salix*) и других кустарников.

**IV.2. Плоские ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод до 1 м, с широколиственно-черноольховыми (дубово-ясенево-черноольховыми) лесами, с подлеском из крушины, калины и других кустарников, а также с верховыми и переходными болотами**

Указанные ландшафты распространены локально южнее г. Житковичи, занимали местоположения, переходные от плакоров к низинным болотам, где на глинистых и суглинистых сырьих и мокрых почвах произрастали широколиственно-черноольховые (дубово-ясенево-черноольховые) леса с богатым флористическим составом, в котором были представлены ольха черная (*Alnus glutinosa*), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*), дуб черешчатый (*Quercus robur*), осина (*Populus*), липа сердцевидная (*Tilia cordata*), клен платановидный (*Acer platanoides*) и клен полевой (*Acer campestre*), вяз гладкий (*Ulmus laevis*), граб обыкновенный (*Carpinus betulus*), изредка береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.) и рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*). В состав подлеска входили крушина ольховидная (*Frangula alnus*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus*), бересклет европейский (*Euonymus europaea*) и др. Такие леса, возможно, были сходны с современными дубово-черноольхово-ясеневыми лесами Белорусского Полесья [16].

Небольшую часть территории в пределах озерно-ледниковых равнин, вероятно, занимали верховые болота с вереском обыкновенным (*Calluna vulgaris* (L.) Hull), багульником болотным (*Ledum palustre* L.), клюквой обыкновенной (*Vaccinium oxycoccus* L.), голубикой обыкновенной (*Vaccinium uliginosum* L.) и другими кустарничками, подобные современным осоково-сфагновым или кустарничково-пушице-сфагновым болотам, а также болота переходные, на которых произрастали ольха черная (*Alnus glutinosa*) и изредка береза пушистая (*Betula pubescens*), сходные с современными кустарничково-травяно-осоково-сфагновыми болотами Полесья [16].

#### **V. Плоские и пологоволнистые лесные ландшафты на озерно-аллювиальных песках и супесях (включают 2 вида)**

##### **V.1. Плоские и пологоволнистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод более 1 м, с дубовыми лесами с примесью ясения, вяза, лещины, осины, ольхи, с подлеском из крушины, бересклета и др.**

Такие ландшафты существовали севернее долины Пра-Припяти, формировались в пределах озерно-аллювиальных низин и были приурочены к берегам озер, притеррасовым и возвышенным частям пойм. Здесь произрастал дубовый лес со значительной примесью ясения обыкновенного (*Fraxinus excelsior*), осины (*Populus*), ольхи черной (*Alnus glutinosa*) и серой (*Alnus incana*), липы сердцевидной (*Tilia cordata*), лещины обыкновенной (*Corylus avellana*), клена платановидного (*Acer platanoides*) и клена полевого (*Acer campestre*), изредка березы пушистой (*Betula pubescens*). В подлеске были представлены крушина ольховидная (*Frangula alnus*), бересклет европейский (*Euonymus europaea*). Такой лес имел сходство с современным дубняком ясенево-пойменным, занимающим в Полесье самые высокие сравнительно ровные участки поймы, наиболее удаленные от русел рек [22–24].

##### **V.2. Плоские и пологоволнистые ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод менее 1 м, с ясенево-черноольховыми лесами с участием осины, ивы, с подлеском из кустарников, местами с низинными травянистыми болотами**

Такие ландшафты имели широкое распространение в пределах наиболее низких, обильно увлажненных проточными водами участков озерно-аллювиальных низин. Растительность была представлена преимущественно черноольховыми лесами (*Alnus glutinosa*), в которых присутствовали ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior*), осина (*Populus* sp.), ива (*Salix* sp.), калина обыкновенная и др. Местами существовали чистые черноольшники и низинные травянистые болота.

#### **VI. Плоские лесные ландшафты на аллювиальных песках и супесях (включают 2 вида).**

##### **VI.1. Плоские пойменные ландшафты с глубинами залегания грунтовых вод более 1 м, с дубравами ольхово-пойменными, с подлеском из бересклета, крушины и других кустарниковых пород.**

Эти ландшафты были широко распространены в поймах Пра-Припяти, Пра-Днепра, Пра-Сожа и Пра-Березины и приурочены к плоским и повышенным участкам рельефа с несколько застойным увлажнением. Здесь могли произрастать дубравы ольхово-пойменные со значительным участием ольхи черной (*Alnus glutinosa*), примесью ясения обыкновенного (*Fraxinus excelsior*), осины (*Populus*) и изредка березы пушистой (*Betula pubescens*). Подлесок состоял из бересклета европейского (*Euonymus europaea*), крушины ольховидной (*Frangula alnus*) и других кустарников.

##### **VI.2. Плоские пойменные ландшафты с залеганием грунтовых вод вблизи земной поверхности, с черноольховыми лесами, местами разнотравно-осоковыми лугами и низинными болотами**

Эти ландшафты были широко распространены в наиболее низких и заболоченных участках пойм и были приурочены к нижним пологим частям склонов и незначительным повышениям среди низинных болот, где произрастали на влажных и сырьих почвах с достаточной проточностью грунтовых вод. Здесь существовали низинные лесные болота с монодоминантными черноольховыми (*Alnus glutinosa*) лесами с небольшой примесью ясения обыкновенного (*Fraxinus excelsior*), различными вида-

ми ив (*Salix*), с преобладанием осок (Суергасеae gen.) и злаков (Poaceae gen.) среди травянистых растений, а также сфагновыми мхами (*Sphagnum*). Часть территории, вероятно, занимали пойменные разнотравно-осоковые луга и травянистые болота.

Таким образом, выявленные особенности распространения растительности на территории восточной части Белорусского Полесья в связи с их приуроченностью к различным экологическим условиям (определенным типам рельефа, отложений, глубинам залегания грунтовых вод), позволили выполнить реконструкцию ландшафтов, которые могли существовать во время самой теплой фазы климатического оптимума муравинского межледникова. Полученные данные о составе флоры и характере растительности свидетельствуют о заметно более высокой степени теплообеспеченности территории Белорусского Полесья в ту эпоху, по сравнению не только с нынешним временем, но и с оптимумом голоцен. При этом следует отметить, что в составе лесной растительности проявились некоторые отличия в направлении с запада на восток, обусловленные уменьшением влияния океанического климата и усилением его континентальности [15].

Результаты проведенных исследований могут служить основой для выявления особенностей развития растительности и распространения отдельных лесообразующих пород, а также возможных направлений изменения природной обстановки на территории Белорусского Полесья в будущем как под воздействием естественных климатических изменений, направленных в сторону похолодания, так и в условиях глобального потепления климата.

#### Список использованных источников

1. Матвеев, А. В. Палеогеоморфологическая схема территории западной части Белорусского Полесья (муравинское межледниково) / А. В. Матвеев, В. П. Зерницкая // Літасфера. 2018. – № 1 (48). – С. 4–11.
2. Матвеев, А. В. Ландшафты западной части Белорусского Полесья в климатическом оптимуме муравинского межледникова / А. В. Матвеев, Т. Б. Рылова // Природопользование. – 2018. – № 2. – С. 83–94.
3. Рылова, Т. Б., Растильность и климат территории западной части Белорусского Полесья в муравинское межледниково / Т. Б. Рылова, И. Е. Савченко // Літасфера. – № 2 (49). –2018. – С.17–33.
4. Матвеев, А. В. Районирование территории западной части Белорусского Полесья по степени комфорта геологической среды для населения / А. В. Матвеев // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 154–162.
5. Цапенко, М. М. Антропогенные отложения Белоруссии / М. М. Цапенко, Н. А. Махнач. – Минск : АН БССР, 1959. – 225 с.
6. Махнач, Н. А. Этапы развития растительности Белоруссии в антропогене / Н. А. Махнач. – Минск, 1971. – 212 с.
7. Крутоус, Э. А. Палеогеография антропогена Белорусского Полесья / Э. А. Крутоус. – Минск, 1990. – 143 с.
8. Матвеев, А. В. Рельеф Белорусского Полесья / А. В. Матвеев, Б. Н. Гурский, Р. И. Левицкая. – Минск, 1982. – 131 с.
9. Матвеев, А. В. Районирование территории Беларуси по типам разрезов четвертичных отложений / А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко, В. Е. Бордон // Літасфера. – 2002. – № 2 (17). – С. 13–26.
10. Палеогеография кайнозоя Беларуси / под ред. А. В. Матвеева. – Минск, 2002. – 164 с.
11. Рылова, Т. Б. Палинологические исследования новых разрезов муравинского межледниково юго-востока Белоруссии / Т. Б. Рылова // Ботаника. – 1988. – С. 133–140.
12. Велічкевич, Ф. Ю. Аб флоры і распіннасці мікулінскага міжледавікоў'я басейна Сярэдняй Дзясны / Ф. Ю. Велічкевич, Т. Б. Рылова, Г. І. Літвінок // Геалагічны і палеанталагічны даследаванні кайназою Беларусі. – Мінск, 1989. – С. 85–97.
13. Хурсевич, Г. К. Биостратиграфия верхнего плейстоцена по опорным разрезам юго-восточной Беларуси / Г. К. Хурсевич, Т. Б. Рылова, С. А. Феденя // Літасфера. – 1995. – № 2. – С. 57–67.
14. Флора и растительность Белоруссии в палеогеновое, неогеновое и антропогеновое время / Н. А. Махнач [и др.]. – Минск, 1981. – 106 с.
15. Рылова, Т. Б. Растильность и климат территории восточной части Белорусского Полесья в муравинское межледниково / Т. Б. Рылова // Літасфера. – 2020. – № 1 (52).– С. 89–104.
16. Юркевич, И. Д. Растильность Белоруссии, ее формирование, охрана и использование (с «Картой растильности Белорусской ССР» масштаба 1 : 600 000) / И. Д. Юркевич, Д. С. Голод, В. С. Адерихо. – Минск, 1979. – 248 с.
17. Распіннасць. М 1 : 250 000 / Нацыянальны Атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 114–115.
18. Ландшафтная карта [Карты] / Нацыянальны Атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – 1 : 1 250 000. – С. 144–145.
19. Курнаев, С. Ф. Теневые широколиственные леса Русской равнины и Урала / С. Ф. Курнаев. – М. : Наука, 1980. – 412 с.
20. Федорова, И. Т. Липовые (*Tilia cordata*) леса / Растильность Европейской части России. – Л. : Наука, 1980. – С. 176–177.
21. Рысин, Л. П. Липовые леса Русской равнины / Л. П. Рысин. – М. : Товарищество научных изданий КМК, 2012. – 195 с.

22. Сидорович, Е. А. Типы и ассоциации пойменных лесов р. Днепр в пределах БССР и биологические основы повышения их защитно-водоохраных свойств : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 1.04.65 / Е. А. Сидорович; Ин-т эксп. ботаники и микробиологии. – М., 1965. – 27 с.
23. Сидорович, Е. А. Особенности лесорастительных условий пойменных дубрав Днепра // Ботаника (Исследования). – Минск : Наука и техника, 1965. – Вып. 7. – С. 100–105.
24. Ковалевич, А. И. Плюсовая селекция дуба черешчатого в пойменных дубравах / А. И. Ковалевич, А. И. Сидор, С. В. Гузенок // Труды БГТУ. – Лесное хозяйство. – 2011. – № 1. – С. 138–143.

### References

1. Matveev A. V., Zernickaya V. P. *Paleogeomorfologicheskaya schema territorii zapadnoj chasti Belorusskogo Poles'ya (muravinskoe mezhlednikov'e)* [Paleogeomorphological Chart of the Western Territory of the Belarusian Polesie (the Muravian Interglacial)]. *Litasfera = Lithosphere*, 2018, no. 1 (48), pp. 4–11. (in Russian)
2. Matveyev A. V., Rylova T. B. *Landshafty zapadnoj chasti Belorusskogo Poles'ya v klimaticheskem optimume muravinskogo mezhlednikov'ya* [Landscapes of the Belarusian Polesie western area during the climatic optimum of the Muravian interglacial]. *Prirodopol'zovaniye = Nature Management*, 2018, no. 2, pp. 83–94. (in Russian)
3. Rylova T. B., Savchenko I. E. *Rastitel'nost' i klimat territorii zapadnoj chaste Belorusskogo Poles'ya v muravinskoe mezhlednikov'e* [Vegetation and Climate in the western territory of the Belarusian Polesie area during the Muravian Interglacial]. *Litasfera = Lithosphere*, 2018, no. 1, pp. 17–33. (in Russian)
4. Matveyev A. V. *Rayonirovaniye territorii zapadnoj chasti Belorusskogo Poles'ya po stepeni komfortnosti geologicheskoy sredy dlya naseleniya* [Zoning of the western part of the Belarusian Polesie according to the comfort degree of the geological environment for the population]. *Prirodopol'zovaniye = Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 154–162. (in Russian)
5. Capenko M. M., Mahnach N. A. *Antropogenovye otlozheniya Belorussii* [Anthropogenic deposits of Belarus]. Minsk, 1959, 225 p. (in Russian)
6. Mahnach N. A. *Etapy razvitiya rastitelnosti Belorussii v antropogene* [Stages of the Vegetation Development in Belarus in the Anthropocene]. Minsk, 1971, 212 p. (in Russian)
7. Krutous E. A. *Paleogeografiya antropogena Belorusskogo Poles'ya* [The Paleogeography of the Anthropogen of the Belarusian Polesie Area]. Minsk, 1990, 143 p. (in Russian)
8. Matveev A. V., Gurskij B. N., Levickaya R. I. *Rel'ef Belorusskogo Poles'ya* [Relief of the Belarusian Polesie Area]. Minsk, 1982, 131 p. (in Russian)
9. Matveyev A. V., Nechiporenko L. A., Bordon V. Ye. *Rayonirovaniye territorii Belarusi po tipam razrezov chetvertichnykh otlozheniy* [Zoning of the territory of Belarus according to the types of quaternary deposit sections]. *Litasfera = Lithosphere*, 2002, no. 2 (17), pp. 13–26. (in Russian)
10. *Paleogeografiya kajnozoya Belarusi* [The Cenozoic Paleogeography of Belarus]. Ed. A. V. Matveyev. Minsk, 2002, 164 p. (in Russian)
11. Rylova T. B. *Palinologicheskiye issledovaniya novykh razrezov muravinskogo mezhlednikov'ya yugo-vostoka Belarusii* [Palynological studies of new sections of the Muravian interglacial in the south-eastern Belarus]. *Botanika = Botany*, 1988, pp. 133–140. (in Russian)
12. Vielichkiewich F. U., Rylova T. B. Litviniuk H. I. *Ab flory i raslinnasci mikulinskaha mizhliedavikoja basiejna Siarednij Dziasny* [About the flora and vegetation of the Mikulin interglacial of the Middle Dziasna basin]. *Hiealahichnyja i paleoantalahichnyja dasliedavanni kajnazoju Bielarusi* [Geological and paleontological research of the Cenozoic of Belarus]. Minsk, 1989, pp. 85–97. (in Belarusian)
13. Khursevich G. K., Rylova T. B., Fedenyia S. A. *Biostratigrafiya verkhnego pleystotsena po opornym razrezam yugo-vostochnoy Belarusi* [Biostratigraphy of the Upper Pleistocene according to the key sections of south-eastern Belarus]. *Litasfera = Lithosphere*, 1995, no. 2, pp. 57–67. (in Russian)
14. Makhnach N. A., Elovicheva Y. K., Burlak A. F., Rylova T. B. *Flora i rastitel'nost' Belarusi v paleogenovoye, neogenovoye i antropogenovoye vremya* [Flora and vegetation of Belarus in the Paleogene, Neogene and Anthropogen]. Minsk, 1981, 106 p. (in Russian)
15. Rylova T. B. *Rastitel'nost' i klimat territorii vostochnoy chasti Belorusskogo Poles'ya v muravinskoye mezhlednikov'ye* [Vegetation and climate of the territory of eastern part of the Belarusian Polesie in Muravian Interglacial]. *Litasfera = Lithosphere*, 2020, no. 1 (52), pp. 89–104. (in Russian)
16. Yurkevich I. D., Golod D. S., Aderiho W. S. *Rastitel'nost' Belorussii, ee formirovanie, ohrana i ispol'zovanie (s «Kartoj rastitel'nosti Belorusskoj SSR» mashtaba 1:600 000)* [Vegetation of Belarus, its formation, protection and usage (with 'Map of the Vegetation of the Belarusian SSR' Scale 1:600 000)]. Minsk, 1979, 248 p. (in Russian)
17. *Raslinnasc' M 1:1 250 000* [Vegetation, Scale 1: 1 250 000]. *Nacyyanal'ny Atlas Belarusi* [National Atlas of Belarus]. Minsk, 2002, pp. 114–115. (in Belarusian)
18. *Landshaftnaya karta. M 1:1 250 000* [Landscape Map, Scale 1:1 250 000]. *Nacyyanal'ny Atlas Belarusi* [National Atlas of Belarus]. Minsk, 2002, pp.144–145. (in Russian)
19. Kurnayev S. F. *Tenevyye shirokolistvennyye lesa Russkoy ravniny i Urala* [Shady broad-leaved forests of the Russian Plain and the Urals]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 412 p. (in Russian)
20. Fedorova I. T. *Lipovyye (*Tilia cordata*) lesa* [Linden (*Tilia cordata*) forests]. *Rastitel'nost' Yevropeyskoy chasti Rossii* [Vegetation of the European part of Russia]. Leningrad, Nauka Publ. 1980, pp. 176–177. (in Russian)
21. Rysin L. P. *Lipovyye lesa Russkoy ravniny* [Linden forests of the Russian plain]. Moscow, 2012, 195 p. (in Russian)

22. Sidorovich Y. A. *Tipy i assotsiatsii poymennyykh lesov r. Dnepr v predelakh BSSR i biologicheskoye osnovy pov-ysheniya ikh zashchitno-vodoohranennykh svoystv. Avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Types and associations of floodplain forests of the Dnieper river within the BSSR and the biological basis for increasing their protective and water-protective properties. Dr. biol. sci. diss. abstract]. Moscow, 1965, 27 p. (in Russian)
23. Sidorovich Y. A. *Osobennosti lesorastitel'nykh usloviy poymennyykh dubrav Dnepra* [Features of the forest growing conditions of the floodplain oak forests of the Dnieper] *Botanika (Issledovaniya) = Botany (research)*. Minsk, 1965, no. 7, pp. 100–105. (in Russian)
24. Kovalevich A. I., Sidor A. I., S. V. *Guznenok Plyusovaya selektsiya duba chereshchatogo v poymennyykh dubravakh* [Plus selection of pedunculate oak in floodplain oak forests]. *Trudy BGTU, "Lesnoye khozyaystvo"* [Proc. of the BSTU 'Forestry'], 2011, no. 1, pp.138–143. (in Russian)

#### Информация об авторах

*Рылова Татьяна Борисовна* – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: rylova@nature-nas.by

*Матвеев Алексей Васильевич* – академик, доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: matveyev@nature-nas.by

*Шидловская Анна Валерьевна* – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: anne.shidlovska@gmail.com

#### Information about the authors

*Tatyana B. Rylova* – D. Sc. (Geology and Mineralogy), Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: rylova@nature-nas.by

*Aleksey V. Matveyev* – Academician, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: matveyev@nature-nas.by

*Anna V. Shidlovskaya* – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoryna str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: anne.shidlovska@gmail.com

**ГЕОТЕХНОЛОГИИ. ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ**  
**GEOTECHNOLOGY. EXTRACTION, PROCESSING AND THE USE  
OF SOLID FUEL MINERALS**

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2020-2-77-87>

УДК 553.97/.973:622.332

Поступила в редакцию 16.10.2020

Received 16.10.2020

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНЫХ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ  
РЕСУРСОВ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ЮГО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА  
ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

**И. И. Лиштван, Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, А. И. Сорокин**

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

**Аннотация.** Приведены результаты изучения ресурсного потенциала Лельчицкого и смежных районов. Показано, что в регионе активно ведется добыча сырья для производства щебня и природного камня в объеме 1 млн м<sup>3</sup> с перспективой наращивания объемов до 10 млн м<sup>3</sup>. Кроме того, добываются торф и сапропель для выпуска органических удобрений, кормовых добавок и буровых растворов. Перспективными для добычи являются запады бурых углей и бентонитовых глин. Торф, сапропель и бурый уголь необходимо рассматривать как сырье для комплексной глубокой переработки с выпуском большего количества продуктов и материалов с высокой добавленной стоимостью.

Полученные результаты позволяют заключить, что развитие Лельчицкого района и экономическая целесообразность строительства полесского участка железной дороги возможны только за счет комплексного развития и наиболее полного использования всей ресурсной базы региона.

**Ключевые слова:** Лельчицкий район; месторождения; торф; сапропель; бурый уголь; щебень; использование.

**Для цитирования.** Лиштван И. И., Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Сорокин А. И. Перспективы использования местных минерально-сырьевых ресурсов для развития юго-западного региона Гомельской области // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 77–87.

**PROSPECTS FOR LOCAL MINERAL AND RAW MATERIALS USE  
FOR THE DEVELOPMENT OF THE SOUTHWESTERN REGION OF GOMEL REGION**

**I. I. Lishtvan, B. V. Kurzo, O. M. Gaidukevich, A. I. Sorokin**

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

**Abstract.** The results of the study of the resource potential of Lelchitsky and adjacent regions are presented. It is shown that the raw materials for the production of crushed stone and natural stone in the amount of 1 million m<sup>3</sup> is actively extracted in the region with the prospect of volume increasing up to 10 million m<sup>3</sup>. In addition, peat and sapropel are mined for the production of organic fertilizers, feed additives and drilling fluids. Brown coal and bentonite clay deposits are promising for mining. Peat, sapropel and brown coal should be considered to be raw materials for complex deep processing with the release of more products and materials with high added value.

The obtained results allow to conclude that the development of Lelchitsky region and the economic feasibility of building Polesie section of the railway is possible only through integrated development and the most complete use of the entire resource base of the region.

**Keywords:** Lelchitsky region; deposits; peat; sapropel; brown coal; crushed stone; use.

**For citation.** Lishtvan I. I., Kurzo B. V., Gaidukevich O. M., Sorokin A. I. Prospects for local mineral and raw materials use for the development of the southwestern region of Gomel region. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 77–87.

**Введение.** Недра южных районов Полесья содержат значительные объемы минерального сырья. На самом юге Лельчицкого района с 1975 г. действует щебеночный завод «Глушковичи». Предприятие занимается добычей, дроблением и сортировкой строительного камня, обеспечивает потребность в нерудных материалах организаций Гомельской области и других регионов Беларуси, осваивало производство щебня специфических фракций, чтобы удовлетворить запросы любого заказчика. Мощность завода в настоящее время составляет 1 млн м<sup>3</sup> щебня в год. Недавно возобновлена разработка карьера облицовочного камня Надежда с объемом выпуска продукции более 30 тыс. м<sup>3</sup> в год. По данным геологоразведочных работ, запасов строительного камня хватит на 400 лет. На сегодня только подтвержденных запасов щебня более 60 млн м<sup>3</sup> и имеется возможность нарастить его производство до 10 млн м<sup>3</sup>. Щебеночный завод заключил ряд выгодных контрактов с российскими партнерами.

Унитарное предприятие «Гомельблдорстрой», в состав которого входит щебеночный завод «Глушковичи», разработал инвестиционный проект по строительству завода мощностью 4 млн м<sup>3</sup>. Строительство второго завода позволит увеличить ежегодный объем производства гранитного щебня на территории Гомельской области с 1 млн до 5 млн м<sup>3</sup> с рынком сбыта продукции преимущественно в западных регионах Российской Федерации. Стоимость проекта – 108 млн дол. США, срок реализации – 3 года, срок окупаемости – 7,7 года.

В настоящее время перевозка щебня автомобильным транспортом делает его для потребителя значительно дороже, чем у предприятий-конкурентов, имеющих подъездные железнодорожные пути. Поэтому строительство полесской железной дороги, крайняя необходимость которой уже экономически доказана, позволит значительно увеличить объемы производства, станет мощным импульсом для дальнейшего развития предприятия, а значит, и Лельчицкого района в целом.

На заседании межведомственной рабочей группы по выработке предложений по вопросам социально-экономического развития Полесского региона и целесообразности строительства участка железной дороги на данной территории от Глушковичей через Лельчицы до Мозыря (д. Михалки) в июле текущего года отмечалось, что основным возможным сценарием развития Полесского региона и в первую очередь Лельчицкого, Ельского и соседних районов, является комплексное использование его природного потенциала как драйвера роста экономики, что невозможно без развития транспортной инфраструктуры к месторождениям полезных ископаемых.

Самым востребованным на первоначальном этапе грузом для перевозки по железной дороге могут стать щебень и природный камень, о чем свидетельствуют значительные объемы импорта щебня в Республику Беларусь, которые за последние 3 года составили 11,2 млн т на 75,9 млн дол. США. Из других природных ресурсов, которые могут добываться, перерабатываться и перевозиться по новой железной дороге, являются древесина, бентонитовые глины, торф, сапропель, бурый уголь.

Цель работы – оценить ресурсы, особенности размещения и качественный состав торфа, сапропеля, бурого угля, бентонитовых глин, возможности их комплексного использования для развития производств по добыче и переработке полезных ископаемых с учетом перспективы строительства железной дороги Глушковичи–Мозырь.

**Объекты и методы.** Объектами исследования служили месторождения торфа, сапропеля, бурого угля и других полезных ископаемых, расположенных на территории трех юго-западных районов Гомельской области – Ельского, Лельчицкого и Мозырского. Для характеристики ресурсного потенциала региона выполнена инвентаризация имеющихся фондовых материалов по объектам исследования, проведен анализ их готовности для освоения и оценены перспективы комплексного освоения природного потенциала рассматриваемого региона, в том числе для развития логистической инфраструктуры, транспортирования сырья и готовой продукции.

**Результаты и их обсуждение.** Щебеночный завод «Глушковичи» в настоящее время является наиболее стably работющим предприятием Лельчицкого района. Для обеспечения производственного процесса на нем функционирует пять технологических линий.

В соответствии с Государственной программой по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2011–2015 годы и на период до 2020 года запланирован проект модернизации завода «Глушковичи» с доведением мощности производства до 2 млн м<sup>3</sup> инертных материалов в год. На месторождении для карьера Надежда в 2018 г. реализован крупный проект по возобновлению добычи облицовочного камня. Ввиду того, что завод «Глушковичи» является градообразующим предприятием и его стабильная ритмичная работа оказывается на многих показателях социально-экономического развития района в целом, ведется дальнейшая работа по модернизации предприятия. Подразделение развивается, с каждым годом растет производственная мощность. Так, например, в 2001 г. было произведено 166 тыс. м<sup>3</sup> продукции, а в 2006 г. – 700 тыс. м<sup>3</sup>, в прошлом – 1 млн м<sup>3</sup>. Поэтому строительство железнодорожной ветки от производственных площадок щебеночного завода «Глушковичи» к крупному железнодорожному узлу Мозырь послужит дальнейшему развитию предприятия.

Для экономического развития Лельчицкого региона и наиболее полной загрузки новой ветки железной дороги с целью экономической целесообразности ее строительства необходимо вовлечение в разработку новых месторождений полезных ископаемых, переработку и перевозку сырья, а также готовой продукции. Одним из природных ресурсов, которым богаты Лельчицкий и Ельский районы, является древесина, которая вместе с продуктами ее переработки может составить существенные объемы вывоза из региона по новой железной дороге. Этому способствует высокая лесистость Лельчицкого района, где леса занимают 67 %. Расчетная лесосека в Лельчицком лесхозе по рубкам главного пользования составляет 1805 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе по хвойным породам – 125,3 тыс. м<sup>3</sup>, твердолиственным – 5,9 тыс. м<sup>3</sup>, мягколиственным – 49,3 тыс. м<sup>3</sup>. В 2019 г. заготовлено более 220 тыс. м<sup>3</sup> древесины, из них деловой 142 тыс. м<sup>3</sup> [1]. Переработано 50 тыс. м<sup>3</sup> круглых лесоматериалов, реализовано круглых лесоматериалов на внутреннем рынке 162 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе деловой древесины – 101 тыс. м<sup>3</sup>, обрезных пиломатериалов на экспорт – 13,4 тыс. м<sup>3</sup>.

Ежегодно в Ельском лесхозе на всех видах рубок заготавливается около 232 тыс. м<sup>3</sup> древесины, и в дальнейшем данные объемы будут возрастать [2]. Годовой объем переработки древесины составляет 47,8 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе 44,1 тыс. м<sup>3</sup> деловой. Среднегодовой объем производства пиломатериалов – 16 тыс. м<sup>3</sup>, из которых 9,8 тыс. м<sup>3</sup> реализуется на экспорт. В год на внутреннем рынке по всем видам продаж реализуется около 100 тыс. м<sup>3</sup> лесоматериалов круглых, в том числе 94 тыс. м<sup>3</sup> деловой древесины.

Другим важным полезным ископаемым, кроме месторождения природного камня, являются бентонитовые глины. В северо-восточной части Лельчицкого района предварительно разведано по категории С<sub>1</sub> *Острожанское месторождение бентонитов осадочного типа*. Месторождение приурочено к песчано-глинистым континентальным отложениям миоцен (антопольская свита). Средняя мощность полезного ископаемого составляет 8,7 м, средняя глубина залегания вскрышных пород, состоящих из неогеновых глин и четвертичных песков, – 21 м [3]. Бентонитовые глины Острожанского месторождения имеют высокое содержание монтмориллонита и минералов его группы – 45–65 %. Содержание частиц <0,001 мм – 27,33–84,24 %. Глины имеют оливково-серый до черного цвет, массивную текстуру, пластичны (число пластичности – 25–40). Величина обменной емкости – 0,3–0,6 мг-экв/г.

Глины пригодны для получения формовочных смесей высокого качества, для приготовления буровых растворов и глинопорошков для нужд геологоразведочной отрасли. Запасы бентонитовых глин по категории С<sub>1</sub> оцениваются в количестве 10 млн т.

Освоение Острожанского месторождения бентонитовых глин позволит ослабить импортную зависимость отечественной промышленности. Ежегодная потребность в бентоните для литейного производства составляет более 100 тыс. т, для буровых работ – 15 тыс. т, для строительства способом «стена в грунте» – 15 тыс. т. По мере расширения сферы использования бентонитов, цифры по потребности и перевозкам по железной дороге могут существенно возрасти. Необходимо отметить, что импорт бентонита в республику за последние 3 года составил в денежном выражении сумму 12 млн дол. США.

Другими видами полезных ископаемых, которые могут быть в ближайшее время вовлечены в эксплуатацию, являются торф, сапропель и бурый уголь Лельчицкого и соседних районов.

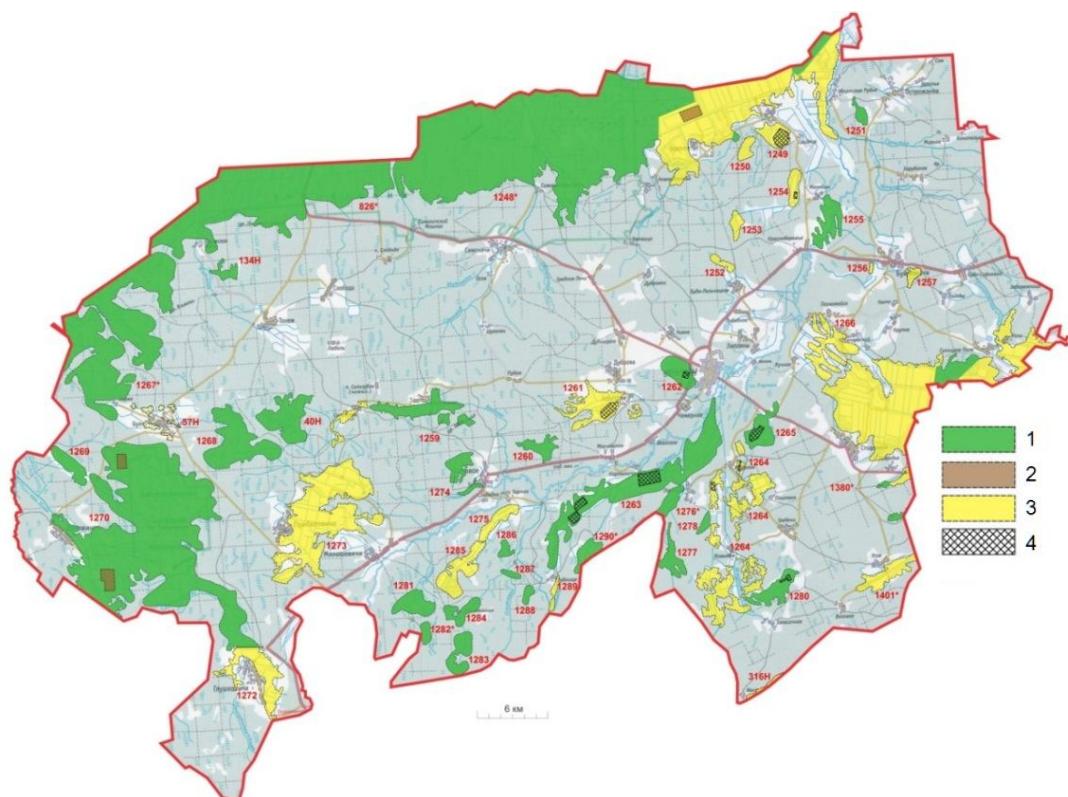
По разведенным запасам торфа Лельчицкий район занимает первое место в Гомельской области – 159,2 млн т, или 15 % от общих ресурсов в области [4]. Согласно Схеме распределения торфяников по направлениям использования на период до 2030 г. в разрабатываемый фонд Лельчицкого района включено два участка: на торфяном месторождении Кандель–Яловец–Ольхово (торфоучасток «Ударное») площадью 200 га, запасами торфа 670 тыс. т и на торфяном месторождении Топиловское – торфоучастки в южной и северо-западной частях месторождения на общей площади 200 га и запасами торфа 480 тыс. т [5]. Картасхема размещения торфяных месторождений и болот Лельчицкого района по целевым фондам представлена на рис. 1. Торф на участках разрабатываемого фонда только низинного типа, в основном предназначен для производства органических удобрений. Горные отводы на разработку торфоучастков в Лельчицком районе выделены ОАО «Лельчицкий агрогородок». В настоящее время из-за отсутствия потребителей в Лельчицком районе производство торфяных органических удобрений находится на низком уровне и составляет менее 1 тыс. т в год.

Институт природопользования НАН Беларуси в 2015–2016 гг. по договору с ГПО «Белтопгаз» выполнил научно-исследовательские работы по определению возможности получения в опытно-промышленных масштабах различных продуктов глубокой переработки торфа [6]. В качестве сырьевой базы произведена оценка торфяного месторождения «Туршевка–Чертово» Крупского района Минской области с залежами низинного, переходного и верхового торфа. Результатом исследований стала разработка научно-технического обоснования целесообразности строительства горно-химического комбината по глубокой комплексной переработке торфа в Крупском районе.

В качестве базового варианта создания предприятия по глубокой комплексной переработке торфа предложена схема, включающая следующие основные блоки по видам выпускаемой продукции:

- активированные углеродные адсорбенты (активные угли) на основе торфа;
  - жидкие гуминовые препараты широкого спектра действия;
  - комплексные гранулированные удобрения;
  - торфяные грунты и субстраты;
  - сорбционные материалы на основе торфа.

Основываясь на имеющемся опыте выполнения научных исследований по разработке новых видов товаров (продукции) на основе торфа и сапропеля с целью дальнейшей организации производств востребованной продукции необходимо оценить наличие запасов верхового и переходного торфа высокой и низкой степени разложения на торфяных месторождениях Лельчицкого района, изучить качественные характеристики сырья на различных участках месторождений с целью обеспечения ресурсами намечаемых производств по получению востребованных научно-исследовательских видов торфяной продукции, перевести наиболее перспективные площади в разрабатываемый фонд.



**Рис. 1. Картосхема размещения торфяных месторождений Лельчицкого района по целевым фондам:**  
**1 – месторождение, подлежащее охране; 2 – месторождение (участок) разрабатываемого фонда;**  
**3 – месторождение (участок) земельного фонда; 4 – выработанная часть месторождения**

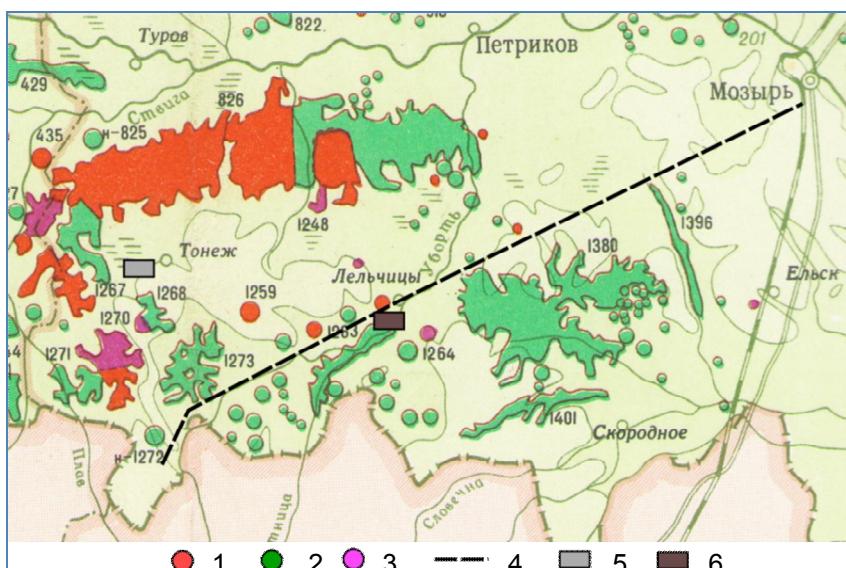
**Fig. 1. A map of peat deposits location in Lelchitsky region according to target funds:**  
**1 – deposit to protection; 2 – deposit (site) of the developed fund; 3 – deposit (site) of the land fund;**  
**4 – depleted part of the field**

В Лельчицком районе преобладают торфяные месторождения низинного типа (табл. 1, рис. 2). Около 30 % запасов приходится на верховой и переходный торф, наличие которого значительно расширяет возможности комплексной переработки торфяного сырья и выпуска широкой гаммы продукции. В двух других административных районах на долю верхового и переходного торфа приходится лишь 0,2 % (Ельский) и 5,0 % (Мозырский) общих запасов. Как видно из картосхем, на рис. 3 и 4 данные районы имеют ограниченные ресурсы торфа, здесь нет торфяных месторождений разрабатываемого фонда и они не могут рассматриваться в качестве перспективных для организации крупных производств по переработке торфяного сырья.

**Таблица 1. Характеристика запасов торфа по типам залежи в Ельском, Лельчицком и Мозырском районах****Table 1. Characteristics of peat reserves by deposit type in the Yelsk, Lelchitsk and Mozyr regions**

Район	Количество торфяных месторождений, шт.				Запас торфа на год разведки, млн т			
	всего	В	П	Н	всего	В	П	Н
Ельский	27	—	1	26	39,0	—	0,1	38,9
Лельчицкий	46	8	6	32	159,2	28,9	7,1	123,2
Мозырский	11	—	1	10	4,4	—	0,2	4,2

П р и м е ч а н и е. Тип залежи торфа: В – верховой; П – переходный; Н – низинный.



**Рис. 2. Размещение торфяных месторождений в районе трассы предполагаемой железной дороги Глушковичи–Мозырь:** 1 – верховые торфяные месторождения; 2 – низинные торфяные месторождения; 3 – переходные торфяные месторождения; 4 – трасса намечаемой железной дороги; 5 – Тонежское месторождение бурых углей; 6 – Лельчицкое месторождение бурых углей

**Fig. 2. Placement of peat deposits in the area of Glushkovichi–Mozyr proposed railroad:**  
1 – raised peat deposits; 2 – lowland peat deposits; 3 – transitional peat deposits; 4 – route of the planned railway; 5 – Tonezhskoe brown coal deposit; 6 – Lelchitskoe brown coal deposit

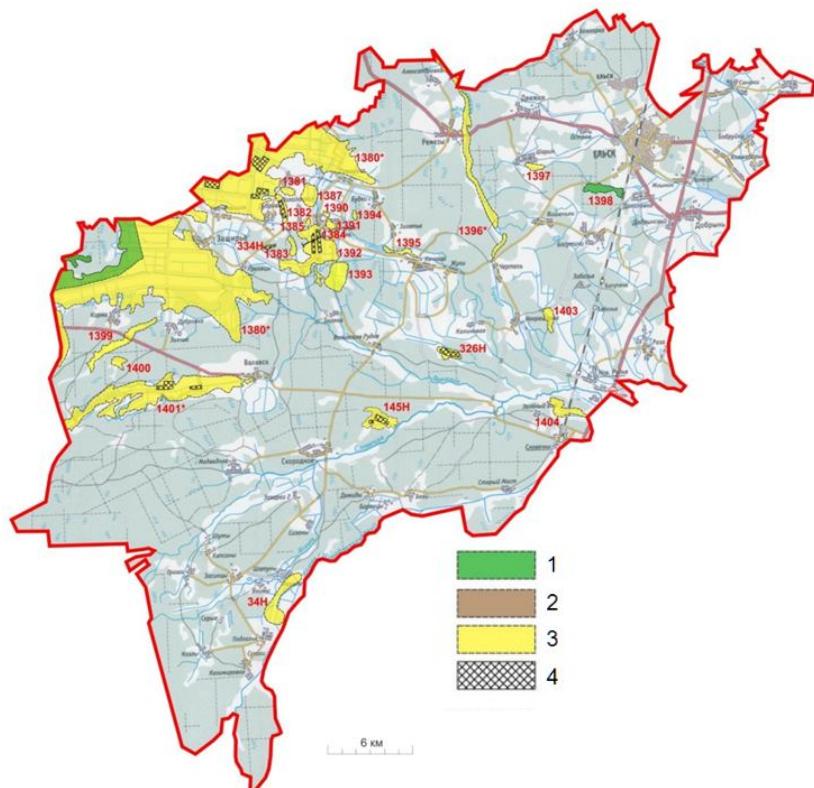
В Лельчицком районе особого внимания в качестве перспективных сырьевых баз для комплексной переработки заслуживают пять торфяных месторождений земельного фонда с запасами верхового и переходного торфа (табл. 2). Перспективная площадь залегания торфа составляет 3150 га, а общие запасы – более 8 млн т.

**Таблица 2. Характеристика торфяных месторождений земельного фонда Лельчицкого района с запасами верхового и переходного торфа****Table 2. Characteristics of peat deposits of the land fund of the Lelchitsky-region with stocks of high-moor and transitional peat**

Номер по кадастру	Месторождение	Площадь, га	Запасы торфа, тыс. т	Площадь залежи по типам, %		
				В	П	Н
1248	Кандель-Яловец-Ольхово	1200	3700	64	38	8
1250	Mox	180	100	100	—	—
1257	Крупка	110	100	100	—	—
1272	Победа	950	3250	33	43	24
1285	Старая Рудня	710	970	—	34	66
<i>Всего</i>		3150	8120			

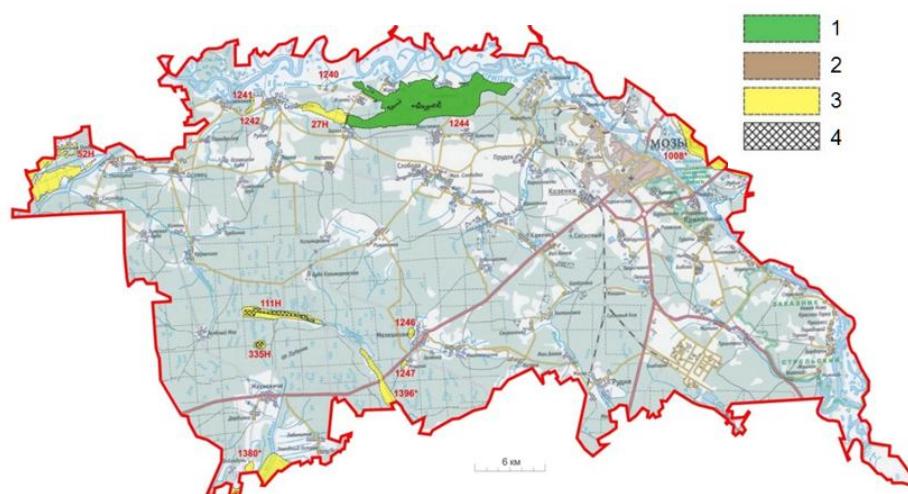
П р и м е ч а н и е. Обозначения типов залежи торфа те же, что и в табл. 1.

В Ельском районе в качестве перспективных сырьевых баз торфа для расширения будущего производства могут служить торфяные месторождения земельного фонда на северо-западе района (рис. 3). В Мозырском районе крупное торфяное месторождение Моисеевское (№ 1244) относится к природоохранным (рис. 4).



**Рис. 3. Картосхема размещения торфяных месторождений Ельского района по целевым фондам. Обозначения те же, что и на рис. 1**

**Fig. 3. Map diagram of the allocation of peat deposits of the Yelsk region by target funds.**  
**Symbols the same as on fig. 1**



**Рис. 4. Картосхема размещения торфяных месторождений Мозырского района по целевым фондам. Обозначения те же, что и на рис. 1**

**Fig. 4. Map diagram of the distribution of peat deposits in Mozyr region by target funds. Symbols the same as on fig. 1**

Кроме изучения перспективной сырьевой базы торфа для развития производств по комплексной переработке, включая запасы верхового и переходного торфа, необходимы также исследования по разработке современных технологий глубокой переработки торфа с получением наиболее эффективных продуктов, для чего потребуются дополнительное апробирование и проверка состава, физических, химических и физико-технических свойств торфа, обеспечивающих оптимальные условия ведения технологических процессов. В 2019 г. на экспериментальной базе «Свислочь» Института природопользования НАН Беларуси создана опытная установка по выпуску комплексных гранулированных удобрений, грунтов и субстратов из сырья месторождения «Туршевка–Чертово», которую можно использовать для отработки технологий получения продукции из сырья Лельчицкого района.

В настоящее время Институт природопользования НАН Беларуси выполняет научные исследования по разработке технологии получения различных видов торфяных активированных углеродных адсорбентов (активных углей).

На первом этапе необходимы также выполнение маркетинговых исследований с целью определения рынков сбыта новой продукции и составление бизнес-плана работ.

В Лельчицком районе в 2011 г. введено в эксплуатацию месторождение сапропеля в озере *Прибыловичи* с общими запасами сапропелевого сырья 576,6 тыс. т. ОАО «Лельчицкий агросервис» добывает в год 1–20 тыс. т сапропеля и производит сапропелевые удобрения, кормовую добавку для включения в состав комбикормов ряда комбинатов хлебопродуктов Гомельской области, компоненты буровых растворов для ПО «Белоруснефть». Для производства кормовых добавок и буровых растворов в 2014 г. построен цех с годовой производительностью по готовым продуктам 10 тыс. т.

Запасы сапропеля могут быть выявлены в неизученных озерах Лельчицкого района Гуска (12 га) и Замошье (8 га).

Дополнительным источником ресурсов сапропеля и торфа может служить примывающий с юго-запада к озерному месторождению сапропеля Прибыловичи выбывший из эксплуатации участок торфяного месторождения Милошевичи, под торфом которого выявлены залежи сапропеля на площади 43 га. Доразведка данного участка для уточнения ресурсов оставшегося торфа и сапропеля выполнена в 2011 г., запасы торфа и сапропеля утверждены протоколом Республиканской комиссии по запасам Минприроды Республики Беларусь от 17.04.2012 г. № 25 (2525). Запасы торфа на доразведенном участке составляют 245,3 тыс. т при 40%-ной условной влажности и сапропеля 312,1 тыс. т при 60%-ной условной влажности.

На торфяном месторождении Милошевичи Лельчицкого района, кроме детально разведенного участка у д. Прибыловичи, имеются выбывшие из эксплуатации участки с залежами сапропеля: «Верховина» – площадь сапропеля 45 га, максимальная мощность 1,2 м, запас около 120 тыс. т и «Липенец» – площадь сапропеля 28 га, максимальная мощность 1,3 м, запас около 110 тыс. т. По материалам предыдущей разведки на выбывшем из эксплуатации торфяном месторождении Свидное Лельчицкого района максимальная мощность сапропеля составляет 1,8 м, запас – около 300 тыс. м<sup>3</sup>, или 160 тыс. т.

В 1989 г. Институт природопользования НАН Беларуси выполнил поисково-оценочные работы на сапропель в озерах Великое и Гусиное Мозырского района, расположенных в 3 км на северо-восток от райцентра. Площадь озер составляет 19 и 14 га соответственно. Объем сапропеля в озере Гусиное по прогнозным подсчетам оценен в 125 тыс. м<sup>3</sup> (22 тыс. т), в озере Великое – 248 тыс. м<sup>3</sup> (87 тыс. т). В 2015 г. Институт природопользования НАН Беларуси на озере Великое выполнил детальную разведку и утвердил запасы сапропеля в Республиканской комиссии по запасам в объеме 262,5 тыс. м<sup>3</sup>, или 88,7 тыс. т, в том числе балансовые – 56,8 тыс. т, из которых на малозольный органический сапропель приходится 20 % запасов. Остальной объем занимает кремнеземистый сапропель, залегающий под слоем органического. В 2017 г. разведенное месторождение сапропеля в озере Великое Мозырского района передано в эксплуатацию фермерскому хозяйству.

В 2013–2015 гг. на базе торфяных и сапропелевых ресурсов Лельчицкого района в рамках научного обеспечения мероприятий Государственной программы «Торф» выполнена научная часть четырех инвестиционных проектов: «Создание производства гранулированных удобрений на основе торфа и сапропеля», «Создание производства гумата калия из смеси торфа и сапропеля», «Создание производства топливных гранул из торфа», «Создание производства биологически активных кормовых добавок на основе сапропеля». К настоящему времени реализован только последний проект. Для двух первых проектов разработаны бизнес-планы производства. Потенциальные инвесторы данных проектов неоднократно выражали обеспокоенность высокими рисками при их реализации в связи со слабым развитием логистической инфраструктуры региона.

Перспективным направлением для экономического развития южного региона республики может рассматриваться глубокая переработка буровых углей Лельчицкого района. Использование конкретных видов переработки определяется горно-геологическими условиями, глубиной залегания полезного ископаемого, мощностью и количеством угольных слоев. При оценке эффективности инновационных технологий недропользования необходимо учитывать также экологическую составляющую на стадии как добычи, так и переработки полезного ископаемого.

В Лельчицком районе имеется два месторождения буровых углей – Лельчицкое и Тонежское (рис. 2).

Лельчицкое месторождение расположено на юг от п.г.т. Лельчицы Гомельской области. Детально разведано в 2012 г. Эксплуатационные (извлекаемые) запасы бурого угля оценены в 35,7 млн т. Средние качественные показатели угля: влажность – 13,0 %, зольность – 30,3 %, выход летучих веществ – 43,8 %, содержание общей серы – 0,8–1,5 %, высшая теплота сгорания – 25,8–34,3 МДж/кг. Глубина залегания – от 90 до 390 м [7]. Угленосная толща содержит от 1 до 7 пластов бурого угля. Мощность основного пласта угля – от 0,5 до 12,2 м.

Тонежское месторождение расположено в юго-западной части Лельчицкого района Гомельской области в 1 км от д. Тонеж, в 48 км к западу от п. г. т. Лельчицы. Запасы Тонежского месторождения разведаны предварительно в связи со сложными горнотехническими условиями залегания пластов. Всего запасы угля составляют здесь 42 млн т. Средняя мощность пластов – 3,0–4,0 м, максимальная – 19,9, глубина вскрыши – от 26,3 до 103,3 м.

Средние качественные показатели бурых углей основного пласта Тонежского месторождения следующие: влажность – 55,1 %, зольность – 22,0, содержание гуминовых веществ – 70,0 и 2,8–9,2 битумов, выход летучих веществ – 57,7 %. Низкое содержание серы (0,5 %) позволяет отнести бурые угли к категории малосернистых, что имеет существенное экологическое значение для энергетико-технологической переработки. Низшая удельная теплота сгорания в зависимости от влажности углей и содержания в них золы составляет 5,4–10,1 МДж/кг. Угли непригодны для прямого сжигания без предварительной сушки.

Требуется углубленное исследование металлоносности угольных месторождений в Лельчицком районе, так как они могут быть нетрадиционной минерально-сырьевой базой редкоземельных металлов. После завершения в 2012 г. РУП «Белгео» работ по разведке Лельчицкого месторождения бурых углей детальных исследований по определению металлоносности угольных месторождений республики не проводилось, что не позволяет пока говорить о перспективах извлечения металлов.

Бурый уголь широко используется в качестве энергетического топлива и химического сырья. Как топливо он чаще всего брикетируется совместно с торфом для коммунально-бытовых нужд. Как сырье используется для получения жидкого топлива и разных синтетических веществ, газа и удобрений. При специальной обработке из бурого угля получают кокс, пригодный для металлургического производства. Низкоольные бурые угли целесообразно использовать в энергетике для прямого сжигания, производства торфо-угольных брикетов и термохимической переработки. Угли с высоким содержанием гуминовых веществ и битумов целесообразно перерабатывать для получения продуктов нетопливного назначения [7, 8].

Бурые угли могут иметь заметный вес в решении топливно-энергетических и технологических проблем Беларуси как местное энергетическое и химико-технологическое сырье. При валовом потреблении топливно-энергетических ресурсов в 36,8 млн т у. т. добыча и энергетическое использования бурого угля в 3–4 млн т/год, или 1 млн т у. т. позволит снизить потребление импортируемого топлива на 3–4 %, что даст экономический эффект порядка 60 млн у. е.

Бурые угли Тонежского и Лельчицкого месторождений по своему составу относятся к гуминовым, так как основную часть их органической массы составляют гуминовые вещества. С этих позиций они фактически близки к торфу высокой степени разложения и пригодны для получения разнообразной нетопливной продукции, о чем свидетельствуют материалы научных и опытно-промышленных исследований, приведенных по ГНТП «Экологическая безопасность», ГНТП «Природные ресурсы и окружающая среда» и договорным работам с РУП «ПО Белоруснефть». В результате этих исследований разработаны технологии получения биологически активных веществ для земледелия в виде стимуляторов роста растений и стимулирующих добавок к минеральным удобрениям, мелиорантов почв, сорбционных материалов для очистки жидких и газовых сред, углещелочных реагентов, применяемых для бурения скважин и других продуктов нетопливного назначения (органоминеральных удобрений различных марок, восков, красителей и др.). Многие из указанных продуктов испытаны в производственных условиях, прошли санитарно-гигиеническую и токсикологическую проверку, получены исходные данные для разработки ТЭО и проектирования соответствующих производств. Выход и ориентировочная стоимость отдельных буровольных продуктов нетопливной группы приведены в табл. 3. Для организации производства продуктов нетопливной группы на горно-химическом комбинате по добыче и переработке бурых углей потребуется по предварительным подсчетам около 1 млн т угля в год.

Согласно Программе освоения месторождений полезных ископаемых и развития минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 2011–2015 годы и на период до 2020 года (в редакции Постановления Совета Министров Республики Беларусь от 01.02.2013 г. № 81) реализован ряд заданий по освоению бурых углей Лельчицкого, Тонежского, Бриневского и Житковичского месторождений. В качестве заказчиков выступали концерн «Белнефтехим» и РУП «ПО Белоруснефть», а исполнителями работ – ОАО «Белгорхимпром», организации Минприроды Республики Беларусь, НАН Беларуси и ГКНТ.

Планировалось, что на первом этапе освоения строится карьер по добыче бурого угля с целью его переработки в торфоугольные или угольные брикеты на Житковичском торфобрикетном заводе и в продукты нетопливного назначения в районе добычи.

ОАО «Белгорхимпром» в 2011 г. выполнил «Технико-экономическую оценку целесообразности промышленного освоения Житковичского, Бриневского, Тонежского месторождений бурых углей в целях использования для производства угольных и торфоугольных брикетов», в котором представлены горно-технологические решения по освоению бурых углей класса Б<sub>1</sub>, учтены экологические аспекты будущего производства и рациональное использование минерального сырья.

**Таблица 3. Выход, ориентировочная стоимость и потребность для некоторых продуктов нетопливного использования бурых углей**

**Table 3. Output, estimated cost and demand for some products of brown coal non-fuel use**

Продукт	Выход, кг/т бурых углей	Ориентировочная стоимость, у. е. за 1 т препарата		Ориентировочная потребность, т		Область применения
		внутренний рынок	внешний рынок	внутренний рынок	внешний рынок	
Биологически активные вещества (стимуляторы роста и добавки к минеральным удобрениям)	300,0	1000	3000–4000	20 000		Растениеводство, добавки к минеральным удобрениям
Мелиоранты: твердые жидкие	1000 1000	200 300	1000 3000	600 000 500	1000 500	Зеленое обустройство деградированных и пустынных территорий, поддержание плодородия сельскохозяйственных земель
Гуминовые сорбенты	800	420		1000		Очистка промышленных сточных вод
Углешелочные реагенты	1250	400	600	2000		Обработка буровых растворов различной степени минерализации при бурении глубоких скважин на нефть и газ
Буроугольный воск	30	2000		450		Машиностроение, консистентные смазки
Органические удобрения (компости)	3000	200		3 900 000		Создание почвенного плодородия
Углеминеральные сорбенты	160	2500		3000		Очистка воздуха от ДПВ на птицефабриках, доочистка сточных вод, очистка почв от тяжелых металлов

Годовая производительность карьера определена заданием на проектирование и составляла 0,7 млн т. Себестоимость добычи 1 т углей 23,08 долл. США. Расчетная стоимость строительства карьера (без НДС) 124,71 млн долл. США.

Параллельно со строительством карьера (2–3 года) и производством торфоугольных брикетов планировалась отработка технологий глубокой переработки бурых углей с получением горючих газов и моторных топлив, так как с вводом карьера и получением больших объемов добываемого угля создавались условия для опытно-промышленных испытаний. Торфобрикетная промышленность страны имеет значительный промышленный опыт по получению торфоугольных брикетов с долей угля по отношению к торфу до 30–50 % (ранее использовался привозной башкирский уголь).

Согласно материалам технико-экономической оценки ОАО «Белгорхимпрома», полная стоимость 1 т брикета топливного на основе торфа (объем производства – 105 тыс. т в год) составляла на середину 2011 г. 31,7 долл. США, на 1 марта 2013 г. внутренняя отпускная цена достигла 78,5 долл. США, на экспорт – около 140,9 долл. США. Для актуализации расчетов требуется уточнение показателей с учетом нынешних цен и модернизации технологий брикетирования.

Ранее проводились тендера на разработку месторождений бурых углей Беларуси, которые закончились безрезультатно из-за отсутствия промышленных технологий переработки бурого угля с получением инновационной продукции по причине отсутствия полноценных технологических проб. Это способствовало тому, что отдельные разработки выполнены в опытном масштабе и не доведены до опытно-промышленного освоения.

Для освоения технологий глубокой переработки бурых углей необходима организация пробной разработки месторождения, получение больших технологических проб, создание опытно-промышленных установок и проведение испытаний, на что потребуется по оптимистическому прогнозу 4–6 лет.

**Заключение.** Таким образом, в результате изучения минерально-сырьевых ресурсов Лельчицкого и смежных районов установлено, что в исследованном регионе для щебенчатого завода «Глушкевичи» в карьерах Крестьянская Нива и Надежда активно ведется добыча сырья и производятся щебень и природный камень, которые востребованы в республике и в приграничных областях

Российской Федерации. Разработан и реализуется инвестиционный проект по строительству завода мощностью 4 млн м<sup>3</sup>, что позволит увеличить ежегодный объем производства гранитного щебня на территории Гомельской области с 1 млн до 5 млн м<sup>3</sup> с рынком сбыта продукции преимущественно в западных регионах России. Имеется возможность постепенно нарастить производство продукции до 10 млн т.

В настоящее время разрабатываются варианты социально-экономического развития данных полесских районов и оценивается целесообразность строительства участка железной дороги в регионе. Для загрузки железнодорожной магистрали и увеличения рентабельности ее работы необходимо более широкое освоение природного потенциала территории в части вовлечения в добычу и переработку сосредоточенных здесь полезных ископаемых.

Кроме щебня и природного камня, в широкий оборот могут быть вовлечены ресурсы переработки древесины. В настоящее время только в Лельчицком, одном из наиболее залесенных районов республики, и Ельском районах заготавливается более 450 тыс. м<sup>3</sup> древесины. В дальнейшем данные объемы будут возрастать.

Изученный регион обладает значительными запасами торфа, часть которого сосредоточена в разрабатываемом фонде. Разрабатываются торфяные участки на месторождениях Топиловское и Кандель–Яловец–Ольховое. Выявлено пять месторождений земельного фонда с запасами верхового и переходного торфа более 8 млн т, имеющего важное значение для комплексной переработки. На основании выполненных ранее научно-исследовательских работ необходимо отметить, что к добыче и использованию торфа нужно подходить с точки зрения его глубокой переработки, в частности рассматривать не как горючее в классическом понимании использования, а как исходный материал, в результате термобиохимической переработки которого можно получить большое количество продуктов и материалов с высокой добавленной стоимостью для промышленного, сельскохозяйственно-го и природоохранного использования.

В регионе имеется два разрабатываемых месторождения сапропеля – в озере Прибыловичи Лельчицкого района и озере Великое Мозырского района. Сапропелевое сырье перерабатывается в кормовые добавки, компоненты буровых растворов, сапропелевые удобрения. Имеется возможность наращивания добычи сапропеля за счет освоения залежей, залегающих под торфом.

Важным стратегическим сырьем для развития региона являются бентонитовые глины месторождения Острожанское с высоким содержанием монтмориллонита и минералов его группы, которые разведаны по категории С<sub>1</sub>, в количестве 10 млн т. Глины пригодны для получения высококачественных формовочных смесей, приготовления буровых растворов и глинопорошков для нужд геологоразведочной отрасли республики.

Перспективным направлением для экономического развития южного региона республики может рассматриваться глубокая переработка бурых углей Лельчицкого и других районов. Запасы Лельчицкого и Тонежского месторождений могут использоваться для решения топливно-энергетических и технологических проблем Беларуси как местное энергетическое и химико-технологическое сырье. Выполнены научные исследования по брикетированию бурого угля совместно с торфом для коммунально-бытовых нужд. Угли с высоким содержанием гуминовых веществ и битумов целесообразно перерабатывать для получения таких продуктов нетопливного назначения, как биологически активные вещества, стимуляторы роста и добавки к минеральным удобрениям, жидкие и твердые мелиоранты, гуминовые сорбенты, углешелочные реагенты, буроугольный воск, органические удобрения (компости), углеминеральные сорбенты и др.

Ввод в строй действующих новых месторождений торфа, сапропеля, бурого угля, бентонита, выпуск и реализация продукции из выявленных сырьевых ресурсов рассматриваемой территории позволит постепенно нарастить объемы перевозимого груза по новой железной дороге до 10 млн т и более, выйти на ее рентабельную работу и, что представляется наиболее важным, дать толчок экономическому росту данного полесского региона.

#### Список использованных источников

- Лельчицкий лесхоз [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lesbyz.by/>. – Дата доступа: 07.09.2020.
- Государственное лесохозяйственное учреждение «Ельский лесхоз» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lesbyz.by/>. – Дата доступа: 07.09.2020.
- Полезные ископаемые Беларуси: к 75-летию БелНИГРИ / редкол.: П. З. Хомич [и др.]. – Минск, 2002. – 528 с.
- Торфяной фонд Белорусской ССР : кадастровый справочник. Гомельская область: Лельчицкий, Ельский, Мозырский районы. – Минск, 1979. – Т. 1–2. – 325 с.
- Схема распределения торфяников по направлениям использования на период до 2030 года. Утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь 30.12.2015 г. № 1111.
- Исследование состава и свойств торфа месторождения «Туршовка–Чертово» как сырья для его глубокой комплексной переработки / И. И. Лиштван [и др.] // Химия твердого топлива. – 2017. – № 5. – С. 24–33.

7. Лиштван, И. И. Твердые горючие ископаемые Беларуси и особенности их глубокой переработки / И. И. Лиштван, В. М. Дударчик, В. М. Крайко // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2015. – Т. 59, № 3. – С. 97–101.
8. Качественные показатели горючих сланцев и бурых углей Беларуси и направления их использования / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование. – 2012. – Вып. 22. – С. 219–228.

#### R e f e r e n c e s

1. *Le'chickij leskhoz* [Lelchitsa forestry] [Electronic resource]. Available at: <http://leles.by/> (accessed 7 September 2020). (in Russian)
2. *Gosudarstvennoe lesohozyajstvennoe uchrezhdenie «El'skij leskhoz»* [State forestry institution 'Yelsk forestry'] [Electronic resource]. Available at: <http://elsk-leshoz.by/> (accessed 7 September 2020). (in Russian)
3. *Poleznye iskopаемые Беларусь: к 75-летию Belnigri* [Minerals of Belarus: to the 75th anniversary of BelSRGEI]. Edit. P. Z. Khomich and et al. Minsk, 2002, 528 p. (in Russian)
4. *Torfjanoy fond Belorusskoj SSR: kadastrovyj spravochnik. Gomel'skaja oblast': Le'chickij, El'skij, Mozyrskij rajony* [Peat fund of the Byelorussian SSR: cadastral reference book. Gomel region: Lelchitsky, Yelsky, Mozyr districts]. Minsk, 1979, vol. 1–2, 325 p. (in Russian)
5. *Shema raspredelenija torfjanikov po napravlenijam ispol'zovanija na period do 2030 goda* [Distribution of peatlands by areas of use for the period up to 2030]. *Utverzhdena postanovleniem Soveta Ministrov Respubliki Belarus 30.12.2015 № 1111* [Approved by the Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus 30 December 2015, no. 1111]. (in Russian)
6. Lishtvan I. I., Muljarchik V. V., Tomson A. Eh., Kurzo B. V., Naumova G. V., Zhmakova N. A., Carjuk T. Ja., Sokolova T. V., Makarova N. L., Ovchinnikova T. F., Sosnovskaja N. E., Pehtereva V. S., Navosha Ju. Ju., Kalilec L. P., Faljushina I. P. *Issledovanie sostava i svojstv torfa mestorozhdenija «Turshovka–Chetrovo» kak syr'ja dlja ego glubokoj kompleksnoj pererabotki* [Study of the composition and properties of peat from the Turshovka-Chetrovo deposit as a raw material for its deep complex processing]. *Himija tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistri*, 2017, no. 5, pp. 24–33. (in Russian)
7. Lishtvan I. I., Dudarchik V. M., Kraiko V. M. *Tverdye gorjuchie iskopаемые Belarusi i osobennosti ih glubokoj pere-rabotki* [Solid fossil fuels of Belarus and features of their deep processing]. *Doklady NAN Belarusi = Reports of the NAS of Belarus*, 2015, vol. 59, no. 6, pp. 97–101. (in Russian)
8. Lishtvan I. I., Faljushin P. I., Dudarchik V. M., Kraiko V. M. *Kachestvennye pokazateli gorjuchih slancev i buryh uglej Belarusi i napravlenija ih ispol'zovanija* [Qualitative indicators of oil shale and brown coal in Belarus and directions of their use]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2012, issue 22, pp. 219–228. (in Russian)

#### Информация об авторах

*Лиштван Иван Иванович* – академик, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

*Курзо Борис Валентинович* – доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией использования и охраны торфяных и сапропелевых месторождений, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: kurs2014@tut.by

*Гайдукевич Олег Михайлович* – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

*Сорокин Александр Иванович* – кандидат технических наук, заместитель директора, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

#### Information about the authors

*Ivan I. Lishtvan* – Academician, D. Sc. (Technical), Professor, Chief Researcher, institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

*Boris V. Kurzo* – D. Sc. (Technical), Associate Professor, Head of Lab of Peat and Sapropel Deposits Utilization and Protection, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: kurs2014@tut.by

*Oleg M. Gaidukevich* – Ph. D. (Technical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

*Alexandr I. Sorokin* – Ph. D. (Technical), Deputy Director, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: a.sorokin@mail.ru

## МЕТОД ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ НАЛИЧИЯ САПРОПЕЛЯ ПОД ТОРФЯНЫМИ ЗАЛЕЖАМИ БЕЛАРУСИ

Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

**Аннотация.** Приведены результаты исследования закономерностей распространения сапропеля под торфяной залежью. Для прогноза происхождения торфяного месторождения либо на месте древнего озера, либо образованного путем заболачивания, по доступному набору информативных признаков, содержащихся в материалах изысканий, картографических и геологических источниках, статистическими методами выделены признаки, по которым определяется начальное состояние объекта, выработаны правила, рассчитаны алгоритмы процедуры его распознавания. Оценена эффективность прогноза происхождения торфяного месторождения.

**Ключевые слова:** месторождения сапропеля; торфяные месторождения; генезис сапропеля; ресурсы сапропеля.

**Для цитирования.** Курзо Б. В., Гайдукевич О. М. Метод прогнозной оценки наличия сапропеля под торфяными залежами Беларуси // Природопользование. – 2020. № 2. – С. 88–95.

## METHOD OF FORECAST ASSESSMENT OF SAPROPEL AVAILABILITY AT PEAT DEPOSITS OF BELARUS

B. V. Kurzo, O. M. Haidukevich

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**Abstract.** The paper presents the results of a study of the patterns of distribution of sapropel under a peat deposit. To predict the origin of a peat deposit either on the site of an ancient lake, or formed by waterlogging by statistical methods according to the available set of informative features contained in survey materials, cartographic and geological sources, features are identified by which the initial phase of each object is determined, rules are developed, procedure algorithms are calculated her recognition. The effectiveness of forecasting the origin of the peat deposits.

**Keywords:** sapropel deposits; peat deposits; sapropel genesis; sapropel resources.

**For citation.** Kurzo B. V., Gaidukevich O. M. Method of forecast assessment of sapropel availability at peat deposits of Belarus. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 88–95.

**Введение.** Поиск ресурсов сапропеля под торфом как местного источника органико-минерального сырья является актуальной и приоритетной задачей рационального природопользования.

За постледниковое время многие озерные водоемы, аккумулировав значительные запасы органико-минеральных осадков, утратили свою озерную функцию и трансформировались в торфяные болота. Наши исследования показывают, что приблизительно каждое третье торфяное болото на территории республики образовано на месте мелководных послеледниковых озер [1].

Для широко развитых на территории республики специфических природных систем различной степени сложности, состоящих из озер и окружающих торфяных болот с их водосбором, – озерно-болотных комплексов (ОБК) – разработана классификация и определены их типичные характеристики [2]. Выделены один, два и более генетических центров – самые низкие участки рельефа минерального ложа – очаги первичного заболачивания [3]. Зачастую углубления такого рода занимали озера, которые сформировали слой сапропеля и, пройдя через стадию заболачивания, в настоящее время перекрыты торфом и трансформированы в одно или несколько торфяных болот.

Цель работы – изучить закономерности накопления сапропеля на недостаточно изученных территориях ОБК. Задача поиска перспективных торфяных месторождений с сапропелем, для которых имеется ограниченная информация, сводится к определению вероятности происхождения торфяного болота либо на месте древнего озера в результате его заилиения и заболачивания, когда зарастание озер сплавиной идет параллельно с расширением торфяной залежи на приозерьях, либо путем забо-

лачивания сушки, когда торф формировался непосредственно на минеральном ложе обводненных впадин рельефа [4].

**Объекты и методы исследования.** Объектами являются торфяные месторождения с сапропелем. Началом изучения таких объектов можно считать оценочные работы Института торфа АН БССР, выполненные в 1970–1975 гг. на 95 выработанных торфяных месторождениях [5]. В нашем исследовании анализ ресурсов сапропеля под торфом выполнен в основном по фондовым материалам геологической разведки около 4400 торфяных месторождений. Это наиболее полно представленные фондовые материалы по западной части Беларуси, где изыскания проведены в основном в послевоенное время. Однако первичные материалы довоенных лет для 2640 торфяных месторождений восточной части полностью утеряны и имеется только кадастровая информация о ресурсах торфа, по которой невозможно восстановить данные о наличии сапропеля на месторождении.

Прогноз происхождения торфяного месторождения на месте древнего озера или образованного путем заболачивания суходолов выполнен статистическими методами по доступному набору информативных признаков, содержащихся в материалах изысканий, картографических и геологических источниках, выделены признаки (факторы), по которым определяется происхождение каждого объекта, выработаны правила, рассчитаны алгоритмы процедуры их распознавания. Оценена эффективность прогноза происхождения болотного массива.

Исследования включают сбор и обработку первичных количественных материалов изысканий, картографической и геологической информации, составление баз данных, сравнение выборок, установление признаков с высокой надежностью оценки различий используемых данных, оценку силы связи между количественными показателями, разработку вероятностно-статистической модели, статистическую обработку показателей признаков и разработку диагностической таблицы для прогнозной оценки наличия сапропеля под торфяными месторождениями.

**Результаты и их обсуждение.** Изучение наличия сапропеля в недостаточно изученных на торф месторождениях западной части Беларуси показывает, что для поиска новых залежей наиболее перспективными являются области развития молодого рельефа в зоне последнего оледенения. Образование древних озер, впоследствии перекрытых торфом, происходило под воздействием климатических, а также геоморфологических, литологических, гидрологических и других природных факторов, которые в конечном итоге определяли морфометрию залежей озерных отложений, их состав и свойства залегающего выше торфа.

Для решения задачи идентификации объектов с залежами сапропеля в западной части республики выделено две группы торфяных месторождений. Первая сформирована на месте древних озер путем их заболачивания и поэтому имеет качественный признак – озерные отложения, залегающие под слоем торфа. Вторая группа торфяных месторождений образована заболачиванием суходольной территории при слабом ее обводнении. В этом случае интересующий нас качественный признак отсутствовал.

При отсутствии первичных геологических материалов по разведке торфяных месторождений количественными показателями для выполнения процедуры распознавания объектов выступали опубликованные кадастровые сведения [3], крупномасштабные топографические карты и тематические карты, в том числе геологическая карта четвертичных отложений [4]. Таким образом, для каждого торфяного месторождения западной части республики определены следующие количественные показатели: максимальная и средняя глубина торфа, площадь объектов в нулевых границах и площадь в границах промышленной глубины торфа, по которым рассчитана доля площади промышленной залежи от общей площади торфяного месторождения, средняя зольность и средняя степень разложения торфа, пнистость залежи. По топографическим картам определены следующие характеристики торфяных месторождений: средняя высота поверхности над уровнем моря, наличие открытых или сплавинных озер на торфяных болотах или в зонах контакта их с минеральными берегами.

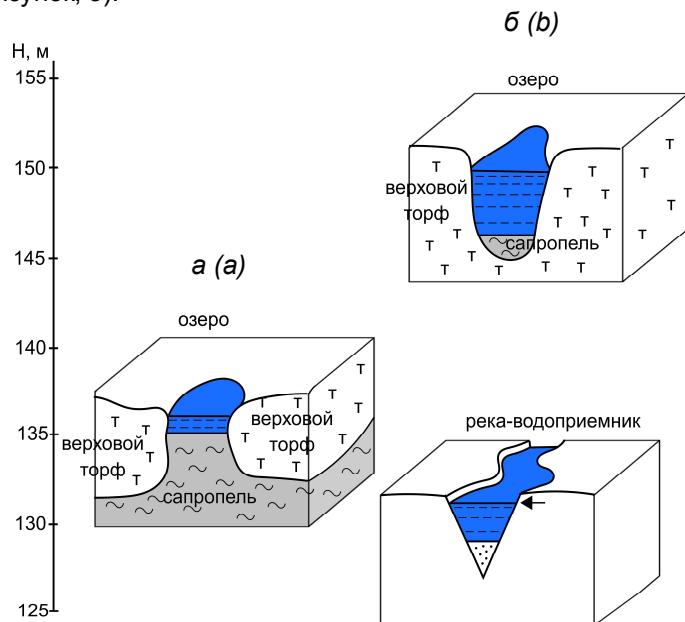
Привлечение топографических материалов и специально разработанного классификатора [6] позволяет объединить торфяные месторождения в укрупненные геоморфологические группы (табл. 1).

Для объектов западной части Беларуси установлено, что из 150 торфяных месторождений первой укрупненной геоморфологической группы – бессточных котловин, сапропель обнаружен в 114. В 581 торфяном месторождении второй группы, к которой относятся объекты в сточных, водораздельных проточных котловинах, котловинах пологоволнистых аблационных равнин и котловинах склонов надпойменных террас, сапропель определен в 255. Аналогичная вероятность обнаружения сапропеля выявлена в торфяных месторождениях крупных равнин Полесья – из 167 торфяных болот данной группы, сапропель имеется в 66. Очень редко встречается сапропель в пойменных и пойменно-притеррасных торфяных месторождениях, которые объединены в четвертую укрупненную группу: из общего количества 516 торфяных месторождений данной геоморфологической группы с сапропелем определено только 54.

**Таблица 1. Критерии группировки торфяных месторождений по геоморфологическому положению****Table 1. Criteria for grouping peat deposits by geomorphological position**

Номер группы	Геоморфологическая группа торфяных месторождений	Критерий выделения
1	Бессточных котловин в условиях богатого или бедного водно-минерального питания, бессточных межморенных котловин конечно-моренного ландшафта	Окружены минеральными холмами и грядами, исключающими возможность стока
2	Сточных котловин, водораздельных проточных котловин, пологоволнистых аблационных равнин, склонов надпойменных террас	Расположены на более низких уровнях рельефа, являются истоком ручьев и рек, часто проточных
3	Крупных равнин Полесья	Распространены на озерно-аллювиальных и аллювиальных отложениях, разной степени проточности. Площадь от 3 тыс. до 45 тыс. га
4	Пойменных, в том числе обвалованных пойм, пойменно-притеррасных, староречий, неглубоких междуречных впадин	Занимают низкую пойму или притеррасные участки поймы, имеют богатое минеральное питание. Представлены преимущественно низинным типом залежи

В первой и второй геоморфологических группах присутствует большое количество торфяных залежей верхового типа. Для территории республики выполнен анализ распространения озер и погребенного под торфом сапропеля на крупных торфяных месторождениях с преобладающими запасами верхового торфа. Установлено, что в половине из них сапропелевая залежь концентрируется только в пределах водной акватории вторичных озер и не распространяется под торф. Проанализированы средние гипсометрические отметки поверхности торфяных месторождений с преобладанием верховых торfov и наличием озер, которые сравнивались с отметками расположенных поблизости рек-водоприемников. Для проанализированных объектов во всех природных зонах выявлена закономерность: остаточные озера с простираем сапропеля под торф за пределы водной поверхности водоемов встречаются на торфяных месторождениях склонового залегания с незначительной, менее 10 м, разностью между поверхностью торфа и средним урезом воды в реке-водоприемнике (см. рисунок, а). Современные озера с мощными залежами сапропеля на этих торфяных болотах образованы раньше, чем нижние слои торфа. При разности отметок поверхности торфа и уреза в реке-водоприемнике более 10 м сапропелевая залежь практически не выходит за пределы водной поверхности озер на водораздельных торфяных месторождениях. Такие озера образованы после формирования нижних слоев торфяной залежи и являются вторичными (см. рисунок, б).



**Схемы заилиения озер на крупных торфяных месторождениях верхового типа:  
а – остаточные озера склонового залегания; б – вторичные озера водораздельного залегания**

**Schemes of sedimentation of lakes in large peat deposits of a raised type:  
a – residual lakes on peat deposits slope; b – secondary lakes on peat deposits watershed**

Геологическая карта четвертичных отложений [4] служит источником информации о генезисе пород окружения торфяных месторождений. Для оценки применяли четырехбалльную систему: песчаные породы окружения получали 1 балл, супесчаные – 2, суглинистые – 3, глинистые – 4 балла. В случаях, когда торфяной массив находился на контакте двух типов пород и более, средний балл рассчитывался пропорционально участию каждой породы.

После сбора количественной информации и составления баз данных по перечисленным выше показателям, характеризующих объекты с наличием качественного признака, в нашем случае – сапропеля, и без данного признака, на основании сравнения выборок оценены их различия по сводным показателям. При изучении разнообразных объектов природы для оценки существенности различий используется главным образом параметрический критерий  $t$  (Стьюдента), который при большом числе наблюдений ( $n > 50$ ) становится малочувствительным к форме распределения исследуемых признаков и дает хорошие результаты при оценке статистической значимости различий двух выборок [7]. В наших исследованиях количество наблюдений в каждой выборке было не менее 99, как в случае торфяных месторождений без сапропеля в Поозерской провинции.

В результате сравнения выборок определены пять признаков, для которых получена высокая надежность оценки различий выборок по центральным тенденциям: максимальная глубина торфа, отношение площади промышленной залежи торфа к площади торфяного месторождения в нулевой границе, средняя зольность и степень разложения торфа, литологический состав пород окружения торфяного болота. Также установлено, что различия в составе пород окружения торфяных месторождений оказали влияние на их происхождение, а наличие сапропеля в объектах с более тяжелыми по литологическому составу породами окружения и подстилания не является случайным.

Для таких признаков, как средняя высота поверхности месторождения над уровнем моря, площадь торфяного месторождения, пнистость залежи различия сравниваемых выборок не существенны (случайны) и данные признаки не используются при расчете алгоритмов прогноза наличия торфоподстилающего сапропеля.

Оценена сила связи между количественными показателями. Повышенная корреляция отмечается между литологическим составом пород окружения торфяных болот и наличием в них сапропеля, особенно в Поозерской и Центральной провинциях. Для остальных признаков характерны связи средней силы или несколько ниже.

Установлена теснота связи между наличием озер и встречаемостью сапропеля на торфяных месторождениях различных провинций. Корреляционные связи сравниваемых показателей характеризуются средней ( $r = 0,44$  и  $0,59$ ) и повышенной ( $r = 0,61$  и  $0,62$ ) силой и являются значимыми на уровне 1 %, что дает основание использовать факт наличия озер на торфяных болотах для прогноза торфоподстилающего сапропеля.

По причине отсутствия корректных статистических приемов не оценена теснота связей между геоморфологическим положением торфяных месторождений и наличием сапропеля. На основании работы [6, 8] априорно можно заключить, что вероятность обнаружения торфоподстилающего сапропеля увеличивается от четвертой укрупненной группы к первой, т. е. от пойменных и пойменно-притеческих торфяных месторождений к более замкнутым, размещенным в бессточных котловинах.

После оценки степени различий распределений всех признаков и выбора наиболее информативных из них для распознавания интересующих нас объектов сформулированы правила этой процедуры. Наиболее многочисленную группу математических моделей при исследованиях в области естественных наук составляют вероятностные модели. Большинство вероятностно-статистических моделей, применяемых при описании природных процессов, представляют собой распределение признаков в одно- и многомерном пространстве, на оси координат которого нанесены шкалы значений, характеризующие определенные единицы наблюдений.

Статистическая обработка показателей признаков проведена по специальному алгоритму расчета, который ранее применялся для прогнозной оценки зольности озерного сапропеля [9]. Алгоритм расчета включает расчет вероятности количественных и качественных показателей для группы торфяных месторождений с известными подстилающими торф породами (минеральные грунты, либо донные отложения озер), построение диагностической шкалы, которая отражает вероятность одного из двух состояний, определение порога, по достижении которого выносится определенное решение о наличии или отсутствии озерной стадии и донных отложений на ранних этапах развития торфяного месторождения. Для формализации задач использовали байесовский подход в бинарном варианте и предположение о независимости используемых признаков [10], что позволяет преобразовывать многомерные модели в одномерную шкалу и использовать простые бинарные алгоритмы расчета.

Диагностические баллы в пределах каждой градации известного признака представлены в виде таблицы для прогнозирования наличия сапропелевых отложений на торфяных месторождениях при отсутствии первичных геологоразведочных материалов (табл. 2).

**Таблица 2. Диагностическая таблица для прогнозной оценки наличия сапропелевых отложений на торфяных месторождениях по некоторым информативным признакам**

**Table 2. Diagnostic table for predictive assessment of the presence of sapropel deposits in peat deposits by some informative signs**

Номер признака и диапазона	Признак и его градация	Провинция		
		Поозерская	Центральная	Полесская
		Диагностический балл		
<i>I Максимальная глубина торфа на торфяном месторождении</i>				
1	<1,5	-6,0	-4,5	-1,0
2	1,5–2,5	-3,0	-1,0	-1,0
3	2,6–3,6	0,0	-1,0	0,0
4	3,7–4,7	+0,5	+0,5	+2,5
5	4,8–5,8	+1,5	+3,0	+2,5
6	5,9–6,9	+2,0	+5,0	+4,0
7	7,0–8,0	+2,0	+5,5	+4,0
8	>8,0	+1,5	+6,0	+4,0
<i>II Средняя зольность торфа, %</i>				
1	<4,0	+1,0	+2,5	+2,5
2	4,0–7,9	+1,0	+1,5	+1,5
3	8,0–11,9	+1,0	+1,5	+1,5
4	12,0–15,9	-1,0	+1,0	+1,0
5	16,0–19,9	-3,0	0,0	0,0
6	20,0–23,9	-3,0	-2,0	-1,0
7	>23,9	-3,0	-3,0	-1,5
<i>III Промышленная залежь торфа, % общей площади торфяного месторождения</i>				
1	<30,0	-3,5	-4,0	-2,0
2	30,0–39,9	-3,0	-2,0	-0,5
3	40,0–49,9	-3,5	-0,5	-0,5
4	50,0–59,9	-1,5	-1,0	-1,0
5	60,0–69,9	0,0	0,0	+1,5
6	70,0–79,9	0,0	+0,5	+1,5
7	80,0–89,9	+1,0	+1,5	+1,0
8	>89,9	+1,0	+1,5	+0,5
<i>IV Средняя степень разложения торфа, %</i>				
1	<25,0	-0,5	+3,0	+4,5
2	25,0–29,9	0,0	+3,0	+0,5
3	30,0–34,9	0,0	+0,5	+0,5
4	35,0–39,9	0,0	+0,5	+0,5
5	40,0–44,9	0,0	-0,5	0,0
6	45,0–49,9	+2,5	-0,5	-1,0
7	50,0–54,9	+3,0	-1,5	-0,5
8	>54,9	+3,0	-3,0	-1,0
<i>V Породы окружения торфяного месторождения, балл</i>				
1	<2,0	-2,0	-0,5	0,0
2	2,0–2,9	+0,5	+2,5	+1,5
3	3,0–3,9	+2,0	+4,5	+2,5
4	>3,9	+2,0	+4,0	+2,5
<i>VI Наличие озер на торфяном месторождении</i>				
1	Торфяные месторождения с наличием открытых или сплавинных озер	+4,5	+5,5	+5,0
2	Торфяные месторождения без озер	-2,5	-2,0	-0,5
<i>VII Геоморфологическое положение торфяного месторождения*</i>				
1	Бессточных котловин	+4,0		
2	Сточных, водораздельных проточных, абляционных равнин, склонов надпойменных террас	+1,0		
3	Крупных равнин Полесья	+0,5		
4	Пойменных, пойменно-притеррасных, староречий, неглубокий междууречных впадин	-3,5		

\*Диагностический балл для признака «Геоморфологическое положение торфяного месторождения» назначается без учета провинциальных различий.

Распознавание интересующих нас объектов производится дифференцированно по природным провинциям, так как диагностические баллы в пределах любого используемого для прогноза признака заметно различаются по градациям, ввиду разной вероятности их проявления в той или иной физико-географической обстановке, определяемой провинциальными различиями ведущих факторов торфо-и сапропелеобразования.

Расчет диагностических баллов и информативности диапазонов признаков для прогнозной оценки наличия сапропелевых отложений на торфяных месторождениях по всем градациям использованных признаков выполнен с использованием в качестве меры информативности формулы дивергенций С. Кульбака [11].

Рассчитанная информативность использованных признаков изменяется в пределах природных провинций (табл. 3). В целом можно заключить, что более предпочтительны такие признаки, как наличие открытых или сплавинных озер на торфяных месторождениях, максимальная глубина торфа, геоморфологическое положение объектов исследования, средняя зольность торфа. Информативность остальных признаков несколько ниже. Общая информативность выделенных признаков для объектов, расположенных на территории Центральной провинции выше, чем в Поозерье. В Полесье, где природная обстановка более однородная, информативность признаков меньше, чем в других провинциях.

**Таблица 3. Информативность признаков для прогноза наличия сапропеля на неисследованных торфяных месторождениях**

**Table 3. Informativeness of signs for predicting the presence of sapropel in unexplored peat deposits**

№ п/п	Признак	Провинция			Вся тер-ритория
		Поозер-ская	Централь-ная	Полес-ская	
1	Максимальная глубина торфа	0,67	1,21	0,50	1,04
2	Относительная площадь промышленной залежи	0,40	0,55	0,40	0,55
3	Средняя зольность торфа	0,52	0,58	0,40	0,74
4	Средняя степень разложения торфа	0,10	0,25	0,20	0,36
5	Литологический состав пород окружения	0,54	0,60	0,11	0,70
6	Наличие открытых и сплавинных озер	2,10	1,90	0,75	1,85
7	Геоморфологическое положение	–	–	–	1,10

При использовании диагностической таблицы для прогноза наличия сапропелевых отложений под торфяными залежами неизученных торфяных месторождений с использованием данных торфяных кадастров, топографических и специальных карт, определяются количественные значения признаков, внесенных в диагностическую таблицу. Диагностические баллы (ДБ), полученные по каждому признаку диагностической таблицы, суммируются и сравниваются с пороговыми суммами ДБ, рассчитанными в соответствии с допустимым уровнем ошибок. Теоретические пороги рассчитываются исходя из предположения о независимости признаков и равенства априорных вероятностей [12]. В качестве порогов используются величины  $5 \times \lg((1 - \alpha)/\beta)$  и  $5 \times \lg(\alpha/(1 - \beta))$ , где  $\alpha$  и  $\beta$  – соответственно допустимая вероятность ошибок первого рода или опасных и второго рода – перестраховочных. Для разработанной диагностической таблицы, при условии, что допустимые вероятности ошибок первого и второго рода равны 0,05, порог составляет  $\pm 6,5$ . В тех случаях, когда в результате диагностической процедуры с использованием нескольких признаков достигнут или превышен порог со знаком «+», то выносится решение о предполагаемом наличии залежи сапропеля на интересующем нас торфяном месторождении. Когда достигается порог со знаком «–», выносится противоположное по смыслу решение об отсутствии сапропеля.

Если в результате использования всех имеющихся диагностических признаков ни один из порогов не достигнут, а суммарный ДБ рассчитан со знаком «+», то имеющейся информации недостаточно для решения вопроса с намеченным уровнем надежности, однако существует определенная вероятность наличия торфоподстилающего сапропеля на объекте исследования. Когда суммирование ДБ дает знак «–» и порог не достигается, то велика вероятность того, что на данном торфяном месторождении торфоподстилающий сапропель отсутствует, однако имеющейся информации все-таки недостаточно для уверенного прогноза с намеченным уровнем надежности. Чем ближе рассчитанный ДБ приближается к пороговому значению, тем надежность прогноза возрастает [8].

Диагностическая таблица опробована на материале, использованном для ее построения. При этом каждый объект считался как вновь исследуемый. Результаты проверки по отдельным административным районам во всех трех природных провинциях представлены в табл. 4.

**Таблица 4. Результаты проверки диагностической таблицы для прогноза наличия сапропелевых отложений на торфяных месторождениях****Table 4. Results of checking the diagnostic table to predict the presence of sapropel deposits in peat deposits**

Район	Торфяные месторождения									
	с сапропелем					без сапропеля				
	n	правильные (знак «+»)	в том числе достиг- нут порог +6,5	ошибочные (знак «-»)	в том числе достиг- нут по- рог -6,5	n	правильные (знак «+»)	в том числе достигнут порог +6,5	ошибочные (знак «-»)	в том числе достигнут порог - 6,5
ответы, %										ответы, %
Верхнедвинский	26	96	70	4	0	5	100	40	0	0
Миорский	19	100	74	0	0	4	100	25	0	0
Гродненский	12	83	58	17	0	14	86	57	14	7
Ивановский	15	74	28	26	0	20	90	45	10	0
Ганцевичский	10	100	70	0	0	17	82	12	18	6
Все районы	82	91	61	9	0	60	88	37	12	3

Правильные ответы по всем проверяемым объектам составляют около 90 %, в том числе случаи, когда выполнен уверенный прогноз наличия сапропеля (достигнут порог +6,5) – 61 %, а в случае уверенного прогноза отсутствия сапропеля (достигнут порог -6,5) – 37 %. Вероятность ошибочного прогноза – около 10 %, причем она несколько выше при определении объектов без сапропеля.

Так, в Ивановском районе Брестской области количество ошибок при прогнозировании объектов с сапропелем увеличено до 26 %, что объясняется малой мощностью торфа большинства расположенных здесь торфяных месторождений, повышенной зольностью торфа и другими факторами. В Ганцевичском районе Брестской области отмечается 18 % ошибочных прогнозов при определении перечня объектов без сапропеля. Удовлетворительные результаты проверки диагностической таблицы выявлены в Поозерье и Центральной провинции.

**Заключение.** Таким образом, теоретически обоснованы и экспериментально подтверждены признаки, указывающие на наличие озерной стадии в развитии торфяных болот и ресурсов сапропеля под торфом. Статистически доказано, что такие признаки, как остаточные озера на торфяных болотах, размещение последних в бессточных котловинах на равнинах и надпойменных террасах, увеличенная более 3,5 м средняя глубина торфа, его незначительная зольность свойственны торфяным месторождениям, образованным на месте озер. На основании анализа информативности выделенных признаков разработана диагностическая таблица для прогноза наличия сапропелевых отложений на неизученных торфяных месторождениях, что позволило определить торфяные болота с сапропелем из общего списка около 2640 объектов, первичные материалы разведки по которым отсутствуют.

Полученные данные об особенностях озерного этапа на ранних стадиях развития крупных торфяных месторождений верхового типа в зависимости от современных гипсометрических отметок их поверхности и уреза воды в реке-водоприемнике позволяют прогнозировать и выявлять наличие погребенных под торфом сапропелевых отложений в районе озер на торфяных месторождениях и имеют важное значение для познания теоретических основ процесса заилиения и заторфования пониженных участков рельефа в позднеледниковое время.

#### Список использованных источников

1. Курзо, Б. В. Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля / Б. В. Курзо. – Минск : Беларуская навука, 2005. – 224 с.
2. Ракович, В. А. Генезис, современное состояние и пути биосферно совместимого использования торфяных месторождений (на примере Белорусского Поозерья) : дис. ... канд. техн. Наук : 05.15.05 / В. А. Ракович. – Минск, 1997. – 220 с.
3. Кузьмин, Г. Ф. Болота и их использование / Г. Ф. Кузьмин // Сб. науч. тр. / ВНИИТП ; под ред. В. Г. Селеннова. – СПб., 1993. – Вып. 70. – 140 с.
4. Геологическая карта четвертичных отложений Белорусской ССР / Министерство геологии СССР, Управле-

- ние геологии при Совете министров БССР ; редкол.: Г. И. Горецкий [и др.]. – М., 1984.
5. Перспективы использования отложений карбонатных сапропелей вырабатываемых торфяников Белорусской ССР / С. Г. Скоропанов [и др.] // Весці АН БССР. Сер. с.-г. наука. – 1975. – № 3. – С. 26–30.
  6. Смеловский, В. Е. Определение геоморфологической группы торфяного месторождения / В. Е. Смеловский, А. П. Гаврильчик, С. Т. Мультан // Природопользование. – Минск, 2000. – Вып. 6. – С. 111–116.
  7. Терентьев, П. В. Практикум по биометрии / П. В. Терентьев, Н. С. Ростова. – Л., 1977. – 152 с.
  8. Смеловский, В. Е. Выработанные торфяные месторождения и их использование / В. Е. Смеловский. – Минск : Наука и техника, 1988. – 151 с.
  9. Ларгин, И. Ф. Формирование и прогноз некоторых качественных параметров сапропелевых месторождений / И. Ф. Ларгин, Б. В. Курзо // Проблемы использ. сапропелей в народн. хоз-ве : тез. докл. Третьей респ. науч. конф., Минск, 2–3 июня 1981 г. / АН БССР, Ин-т торфа. – Минск : Наука и техника, 1981. – С. 17–18.
  10. Вальд, А. Последовательный анализ / пер. с англ. П. А. Бакута [и др.] ; под ред. Б. А. Севастьянова. – М. : Физматгиз, 1960. – 328 с.
  11. Кульбак, С. Теория информации и статистика / С. Кульбак ; пер. с англ. Д. И. Гордеева ; под ред. А. Н. Колмогорова. – М. : Наука, 1967. – 408 с.
  12. Гублер, Е. В. Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов / Е. В. Гублер. – Л. : Медицина, 1978. – 294 с.

### References

1. Kurzo B. V. *Zakonomernosti formirovaniya i problemy ispol'zovaniya sapropelya* [Patterns of formation and problems of using sapropel]. Minsk, 2005, 224 p. (in Russian)
2. Rakovich V. A. *Genesis, sovremennoye sostoyaniye i puti biosferno sovmestimogo ispol'zovaniya torfyanykh mestorozhdeniy (na primere Belorusskogo Poozer'ya)*. Diss kand. tekhn. nauk [Genesis, current state and ways of biosphere compatible use of peat deposits (on the example of the Belarusian Poozerie)]. Dr. tech. sci. diss.]. Minsk, 1997, 220 p. (in Russian)
3. Kuz'min G. F. *Bolota i ikh ispol'zovaniye*. [Marshes and their use]. Sb. nauch. tr., VNIITP [Proc. of VNIITP under ed. V. G. Selennov], St. Peterburg, 1993, vol. 70, 140 p. (in Russian)
4. *Geologicheskaya karta chetvertichnykh otlozheniy Belorusskoy SSR* [Geological map of Quaternary deposits of the Byelorussian SSR, Scale 1 : 500 000]. Moscow, 1984. (in Russian)
5. Skoropanov S. G., Lishtvan I. I., Tishkovich A. V., Virjasov G. P. *Perspektivy ispol'zovaniya otlozheniy karbonatnykh sapropeley vyrabatyvayemykh torfyanokov Belorusskoy SSR* [Prospects for the use of carbonate sapropel deposits produced by peat of the Byelorussian SSR]. Vesti AN BSSR. Ser. s.-g. navuk [Proc. of the Academy of Sciences of the BSSR. Agricultural Sciences Series], 1975, no. 3, pp. 26–30. (in Russian)
6. Smelovskiy V. E., Gavril'chik A. P., Mul'tan S. T. *Opredeleniye geomorfologicheskoy gruppy torfyanogo mestorozhdeniya* [Determination of the geomorphological group of a peat deposit]. Prirodopol'zovaniye = Nature Management. Minsk, 2000, issue 6, pp. 111–116. (in Russian)
7. Terent'yev P. V. *Praktikum po biometrii* [Workshop on biometrics]. Leningrad, 1977, 152 p. (in Russian)
8. Smelovskiy V. E. *Vyrobottannyye torfyanyye mestorozhdeniya i ikh ispol'zovaniye* [The developed peat deposits and their use]. Minsk, 1988, 151 p. (in Russian)
9. Largin I. F., Kurzo B. V. *Formirovaniye i prognoz nekotorykh kachestvennykh parametrov sapropelevykh mestorozhdeniy* [Formation and forecast of some qualitative parameters of sapropel deposits]. Problemy ispol'zvania sapropeley v narodnom khoziaistve : tez. dokl. III respubl. nauchn. konf. Simpozium [Proc. of the III republ. scientific. conf. Problems of using sapropels in the national economy]. Minsk, 1981, pp. 17–18. (in Russian)
10. Val'd A. *Posledovatel'nyy analiz* [Sequential analysis]. Moscow, 1960, 328 p. (in Russian)
11. Kul'bak S. *Teoriya informatsii i statistika* [Information theory and statistics]. Moscow, 1967, 408 p.
12. Gubler E. V. *Vychislitel'nyye metody analiza i raspoznavaniya patologicheskikh protsessov* [Computational methods of analysis and recognition of pathological processes]. Leningrad, 1978, 294 p. (in Russian)

### Информация об авторах

**Курзо Борис Валентинович** – доктор технических наук, доцент, заведующий лабораторией использования и охраны торфяных и сапропелевых месторождений, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: kurs2014@tut.by

**Гайдукевич Олег Михайлович** – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

### Information about the authors

**Boris V. Kurzo** – D. Sc. (Technical), Associate Professor, Head of Lab of Peat and Sapropel Deposits Utilization and Protection, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: kurs2014@tut.by

**Oleg M. Gaidukevich** – Ph. D. (Technical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

## ОЦЕНКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛА ДОБЫЧИ КУСКОВОГО ТОРФА РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ И НА ОСНОВЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ДАННЫХ

В. Б. Кунцевич, Т. И. Макаренко

*Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

**Аннотация.** Приведены результаты определения продолжительности цикла добычи кускового торфа расчетным методом и на основании данных, полученных в производственных условиях. Исследована динамика сушки кускового торфа диаметром 40 мм в условиях радиационно-конвективного режима. Показано влияние интенсивности выпадения осадков на технологические и эксплуатационные показатели производства сформированной продукции. Выявлено, что коэффициент вариации количества циклов, одного из основных показателей, за трехлетний период наблюдений составил 33,0 %, что, согласно принятой градации, является величиной значительной.

В результате обзора опубликованных работ установлено, что средние многолетние климатические данные, полученные в 1960–70-е годы и используемые в расчетах сушки кускового торфа в радиационно-конвективном режиме, существенно отличаются от данных, наблюдаемых при современном потеплении климата.

**Ключевые слова:** сушка кускового торфа; полевые исследования; расчетный метод; продолжительность цикла; сравнительный анализ; изменение климата.

**Для цитирования.** Кунцевич В. Б., Макаренко Т. И. Оценка продолжительности цикла добычи кускового торфа расчетным методом и на основе производственных данных // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 96–102.

## EVALUATION OF THE DURATION OF THE EXTRACTION CYCLE OF LUMP PEAT BY THE CALCULATION METHOD AND ON THE BASIS OF PRODUCTION DATA

V. B. Kuntsevich, T. I. Makarenko

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

**Abstract.** The results of the determination of the duration of the cycle of the extraction of lump peat by the calculation method and on the basis of the data obtained in production conditions are presented. The dynamics of drying of lump peat with a diameter of 40 mm under conditions of a radiation-convective regimes is studied. The influence of the intensity of precipitation on the technological and operational indicators of the production of molded products is shown. It was revealed that the coefficient of variation of the number of cycles, one of the main indicators, for a three-year observation period was 33,0 %, which, according to the accepted gradation, is a significant value.

As a result of a review of published works, it was found that the average long-term climatic data obtained in the 1960s–1970s and used in the calculations of drying of lump peat in a radiation-convective regimes differ significantly from the data observed during modern climate warming.

**Keywords:** drying of lump peat; field research; calculation method; duration of cycle; benchmarking; climate change.

**For citation.** Kuntsevich V. B., Makarenko T. I. Evaluation of the determination of the extraction of lump peat by the calculation method and on the basis of data production. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 96–102.

В Республике Беларусь планируется организовать производство активированных углей из кускового торфа. Ранее проведенными исследованиями показано, что наряду с качественной характеристикой торфа на адсорбционную активность углей и прочность на истирание существенное влияние оказывает и размер куска, в частности его диаметр [1]. Установлено, что начальный диаметр кускового торфа при сушке его в радиационно-конвективном режиме должен быть в пределах 35–40 мм. В связи с тем, что при производстве окускованной продукции для коммунально-бытовых потребителей диаметр мундштуков добывающей машины находится в пределах 75–150 мм, исследованиям по определению технологических показателей производства кускового торфа меньшего диаметра в научных изданиях не уделялось должного внимания. Лишь в отдельных трудах освещались вопросы

сы, связанные с производством гранулированного и мелкокускового торфа [2–4]. Наиболее обстоятельно технология добычи, перспективные образцы оборудования и качественная характеристика гранулированного торфа различного диаметра исследованы И. Н. Чистым и обобщены в работе [5]. Однако и в этом случае основное внимание уделялось улучшению качества добываемой продукции как топлива для сжигания в различных топочных устройствах. Учитывая изложенное, сотрудники лаборатории использовали и охраны торфяных и сапропелевых месторождений в 2018–2020 гг. выполняли исследования по изучению основных технико-экономических показателей производства кускового торфа диаметром 40 мм как сырья, предназначенного для получения активированных углей. Значительное внимание при этом было уделено вопросам сушки добываемой продукции и, в частности, определению продолжительности цикла и их количества в сезоне.

Исследования проводились на торфяном месторождении «Туршевка-Чертово», расположенном в Крупском районе Минской области. На добывческого кускового торфа применялась машина КТД-1, изготовленная в ОАО «Могилевэнерго». Фильера формующего аппарата машины была несколько модернизирована в части замены стандартных мундштуков диаметром 75 мм на мундштуки диаметром 40 мм. Начальное влагосодержание куска колебалось в пределах 4,6–5,4 кг/кг, конечное достигало около 0,43 кг/кг, что соответствовало относительной влажности 30,0 %. Сушка сформованной продукции осуществлялась непосредственно на залежи в условиях радиационно-конвективного режима. В сезонах 2018–2019 гг. температура воздуха и осадки принимались по данным Борисовской метеорологической станции, ближайшей к торфяному месторождению. В 2020 г. на производственном участке ОАО «Туршовка» в начале сезона был установлен осадкометр Третьякова, что позволило получить более достоверные данные о количестве выпавших осадков.

На рис. 1 в качестве примера приведены средние значения влажности кускового торфа во времени, полученной в сезоне 2019 г.

Как видно из данного рисунка, кусковой торф, добывческий 15.05.2019 г. с начальной влажностью 80,2 %, достиг кондиционной уборочной влажности (30,0 %) через 13 суток. Этому способствовали достаточно высокая среднесуточная температура воздуха и незначительное количество выпавших за этот период осадков – 5 мм. До середины июня стояла жаркая, практически без дождей погода. Максимальная среднесуточная температура воздуха была зарегистрирована 12 июня и составила 25,9 °C. В результате таких погодных условий влажность кускового торфа в расстиле продолжала снижаться и 13.06.2019 г. достигла значения 12,8 %. Полученная линия тренда хорошо аппроксимируется логарифмической зависимостью с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,985$ .

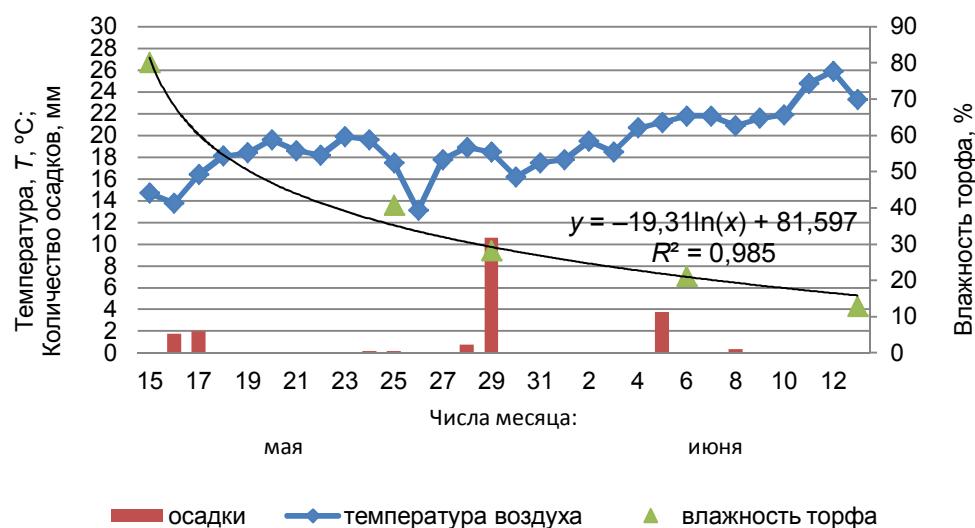


Рис. 1. Динамика сушки кускового торфа диаметром 40 мм в первом цикле

Fig. 1. Dynamics of drying lump peat with a diameter of 40 mm in the first cycle

Второй цикл был начат 18 июня. Начальная влажность добываемой продукции составила 80,9 %. Среднесуточная температура воздуха 18–27.06.2019 г. превышала 20 °C, однако за это время выпало 49,2 мм осадков, что привело к снижению скорости сушки (рис. 2). Первая декада июля характеризовалась сравнительно низкой среднесуточной температурой, которая колебалась в пределах от 13,1 до 14,8 °C. За этот период суммарное количество осадков составило 24,1 мм. Несмотря на такие по-

годные условия через 17 суток с момента добычи кусковой торф достиг кондиционной 30,0%-ной влажности. Этому способствовали благоприятные погодные условия в начале сушки добытой продукции, что привело к образованию на поверхности куска сухой корки, и выпавшие впоследствии осадки не оказали существенного негативного влияния на процесс сушки. В дальнейшем, вследствие низких среднесуточных температур воздуха и почти ежедневно выпадающих осадков, хотя и в небольшом количестве, испарение влаги из окусованной продукции практически прекратилось, и в конце опыта (17.07.2019 г.) средняя влажность кускового торфа составила 27,3 %. В первом цикле за такой же промежуток времени влажность добытой продукции достигла значения 12,8 %.

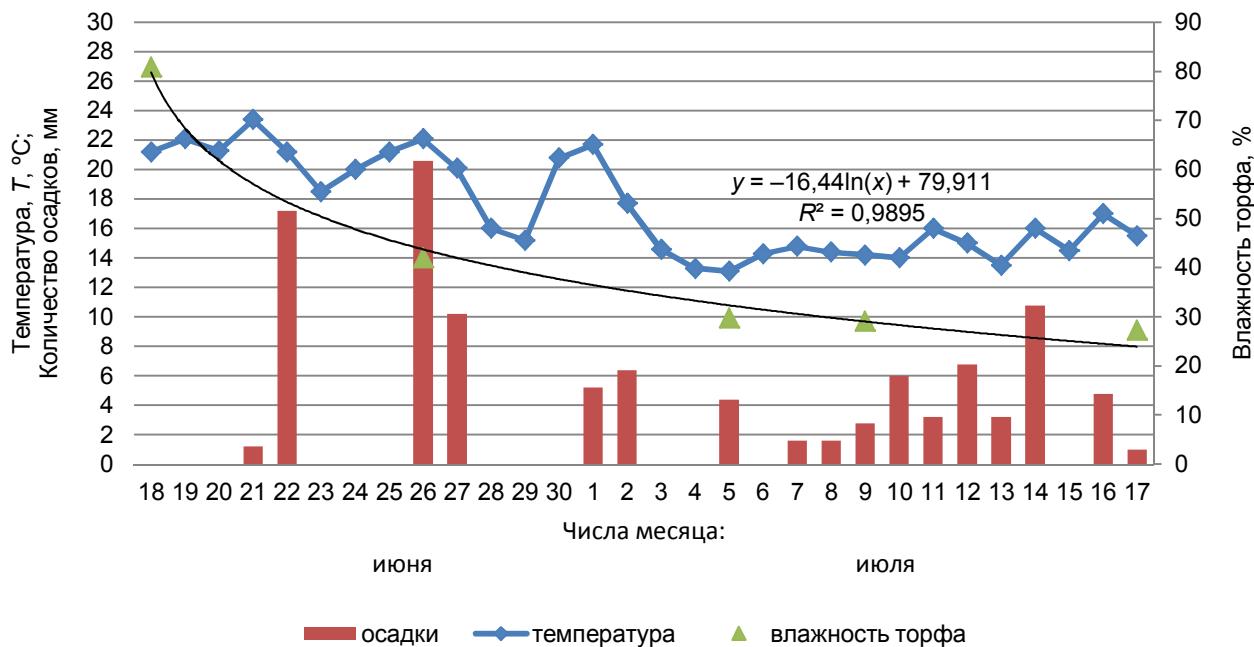


Рис. 2 Динамика сушки кускового торфа диаметром 40 мм во втором цикле

Fig. 2. Dynamics of drying lump peat with a diameter of 40 mm in the second cycle

Следует отметить, что уборочная влажность кускового торфа, предназначенного для коммунально-бытовых потребителей, должна быть не более 45,0 % [6]. Влажность кускового торфа как сырья для производства активированных углей – не более 30,0 %. В этом случае значительно снижаются затраты на испарение избыточной влаги на стадии карбонизации торфа.

В результате выполненных на протяжении трех лет исследований установлено, что среднестатистическая продолжительность цикла добычи кускового торфа диаметром 40 мм составляет 15 суток. Если учесть, что плановое количество календарных суток на добычу кускового торфа для Минской области принято 105 [7], отсюда следует, что можно осуществить семь циклов при условии непрерывного ведения процесса.

Производство кускового торфа в значительной степени зависит от погодных условий, и основные его технологические показатели весьма изменчивы по годам. Так, среднеквадратическое отклонение количества циклов в наших исследованиях за 2018–2020 гг. составило 5 суток, а коэффициент вариации – 33,0 %, что, согласно принятой градации, является величиной значительной [8].

Естественно предположить, что установленные в производственных условиях показатели могут отличаться от данных, полученных расчетным путем. В этой связи определенный интерес представляет обоснование продолжительности и интенсивности сушки мелкокускового торфа с использованием теоретических положений, а также расчетные формулы, основанные на результатах экспериментальных и лабораторно-полевых исследований, учитывающих всю сложность взаимосвязей физических явлений.

В основу расчета положены исходные данные, полученные при добыче мелкокускового торфа машиной КТД-1 на месторождении «Туршевка–Чертово» в 2019 г.: тип торфа – верховой; степень разложения – 30,0 %; кусковой торф цилиндрической формы с начальным диаметром 40 мм; влагосодержание куска, кг/кг: начальное – 4,6; конечное – 0,43 кг/кг; влагосодержание верхнего (10 мм) слоя залежи – 4,0 кг/кг; удельная площадь поверхности частиц переработанной массы – 600 м<sup>2</sup>/кг.

Расчет произведен в соответствии с блок-схемой, разработанной В. Я. Антоновым, Л. М. Малковым и Н. И. Гамаюновым [9].

#### *Удельная загрузка по абсолютно-сухому веществу*

$$P_c = \frac{\rho_h d_h k_c}{1 + \omega_h},$$

где  $P_c$  – удельная загрузка по абсолютно сухому веществу, кг/м<sup>2</sup>;  $\rho_h$  – начальная плотность куска, кг/м<sup>3</sup> [7];  $d_h$  – начальный диаметр куска, м;  $k_c$  – критерий слоя (куски на поле сушки уложены в один ряд) [9];  $\omega_h$  – начальное влагосодержание куска, кг/кг.

$$P_c = \frac{980 \cdot 0,04 \cdot 0,785}{1 + \omega_h} \cdot 4,6 = 5,5 \text{ кг/м}^2.$$

#### *Интенсивность сушки в постоянном периоде*

$$i_n = a i_u A k_c e^{-\beta k_c},$$

где  $i_n$  – интенсивность сушки торфа, кг/(ч·м<sup>2</sup>);  $a$  – постоянная величина, зависящая от конструкции испарителя и качества материала, закладываемого в сосуд [9];  $i_u$  – средняя испаряемость с поверхности эталонного материала, кг/(ч·м<sup>2</sup>) [9];  $A$  – постоянная величина, зависящая от формы кускового торфа [9];  $\beta$  – величина, характеризуемая угловым коэффициентом прямых, зависящая от качественной характеристики торфа [9].

$$i_n = 0,525 \cdot 0,5 \cdot 5,33 \cdot 0,785 e^{-0,79 \cdot 0,785} = 0,593 \text{ кг/(ч·м}^2).$$

#### *Первое критическое влагосодержание*

$$\omega_{kp} = \omega_n + B \left[ \frac{i_n d_h (1 + \omega_h)}{A \rho_h} \frac{4}{\pi} 10^5 - 0,9 \right],$$

где  $\omega_{kp}$  – первое критическое влагосодержание, кг/кг;  $\omega_n$  – влагосодержание верхнего слоя куска, кг/кг [7];  $B$  – величина обратно пропорциональная коэффициенту диффузии, ч/м<sup>2</sup> [9];  $\omega_h$  – начальное влагосодержание, кг/кг.

$$\omega_{kp} = 1,03 + 0,26 \left[ \frac{0,593 \cdot 0,04(1 + 4,6)}{5,33 \cdot 980} \frac{4}{3,14} 10^5 - 0,9 \right] = 1,64 \text{ кг/кг.}$$

*Коэффициент, учитывающий изменение поверхности куска в процессе сушки,*

$$k_F = \sqrt[3]{\left[ \frac{1 + i_u \times k_{yc} (\omega_h + \omega_{kp})}{1 + k_{yc} \times \omega_h} \right]^2},$$

где  $k_{yc} = 0,366$  – коэффициент объемной усадки (получен экспериментальным путем на торфяном месторождении «Туршевка–Чертово»).

$$k_F = \sqrt[3]{\left[ \frac{1 + 0,5 \times 0,366 (4,6 + 1,64)}{1 + 0,366 \times 4,6} \right]^2} = 0,86.$$

*Продолжительность сушки в постоянном периоде*

$$T_n = \frac{P_c (\omega_h - \omega_{kp}) k_3}{i_n k_F},$$

где  $T_n$  – продолжительность сушки в постоянном периоде, ч;  $k_3$  – коэффициент удлинения сушки, зависящий от влагосодержания верхнего (10 мм) слоя залежи [9].

$$T_n = \frac{5,5 \cdot (4,60 - 1,64) \cdot 1}{0,593 \cdot 0,86} = 31,98 \text{ ч.}$$

*Коэффициент, учитывающий условия сушки в убывающем периоде,*

$$k'_F = \sqrt[3]{\frac{1 + 0,5k_{yc}(\omega_{kp} + \omega_k)}{1 + k_{yc}\omega_h}},$$

где  $\omega_k$  – конечное влагосодержание куска, кг/кг.

$$k'_F = \sqrt[3]{\frac{1 + 0,5 \cdot 0,366(1,64 + 0,43)}{1 + 0,366 \cdot 4,6}}^2 = 0,642.$$

*Продолжительность сушки в убывающем периоде*

$$T_y = \frac{P_c K_3}{i_n k'_F} (\omega_{kp} - \omega_p) \cdot 2,3 \lg \frac{\omega_{kp} - \omega_p}{\omega_k - \omega_p},$$

где  $T_y$  – продолжительность сушки в убывающем периоде, ч;  $\omega_p$  – равновесное влагосодержание, кг/кг [9]

$$T_y = \frac{5,5 \cdot 1}{0,593 \cdot 0,642} (1,64 - 0,16) \cdot 2,3 \lg \frac{1,64 - 0,16}{0,43 - 0,16} = 36,31 \text{ ч.}$$

*Общая продолжительность сушки*

$$T_o = T_n + T_y = 31,98 + 36,31 = 68,29 \text{ ч.}$$

*Продолжительность сушки с учетом осадков*

$$T_{oc} = T_o \frac{i_n}{i_n - k_{oc} k_h},$$

где  $T_{oc}$  – продолжительность сушки с учетом осадков, сутки;  $k_{oc}$  – среднединамический коэффициент поглощения осадков;  $k_h$  – многолетнее значение среднесуточной испаряемости по Минской области, кг/(м<sup>2</sup>/сут) [9];

$$\overline{k_{oc}} = a + 0,03\bar{\omega},$$

где  $a$  – величина, зависящая от качества торфа [9];  $\bar{\omega}$  – среднее влагосодержание куска в процессе сушки, кг/кг;

$$\bar{\omega} = 0,5(\omega_h + \omega_k) = 0,5(4,6 + 0,43) = 2,51 \text{ кг/кг};$$

$$\bar{k}_{oc} = 0,14 + 0,03 \cdot 2,51 = 0,22.$$

Величина  $\tau_{oc}$  в данном случае выражается в сутках. Для Минской области в период добычи торфа (май–август) в сутки испарение возможно в течение 10 ч [7].

$$\tau_{oc} = 6,83 \times \frac{5,93}{5,93 - 0,22 \times 2,35} = 7,48 \approx 8 \text{ сут.}$$

Сравнивая продолжительность сушки кускового торфа, установленной расчетным путем, с данными, полученными в реальных полевых условиях, следует отметить следующее. В сезоне добычи 2018 г. средняя продолжительность сушки сформированной продукции, произведенной из торфа верхового типа в условиях радиационно-конвективного режима, составила 9 суток, что близко к расчетному значению. Однако в 2019 г. продолжительность сушки в первом цикле составила 13 суток, во втором – 17 суток. Если сравнить среднее арифметическое значение по трем циклам (13 суток) с расчетными данными, то полученное расхождение (38,0 %) является весьма существенным. Вероятнее всего, это можно объяснить тем, что в расчетах продолжительности сушки метеорологические показатели приняты по средним многолетним данным, а в производственных условиях они получены за период трех сезонов добычи, что является недостаточным для накопления статистического материала, позволяющего получить достоверный результат.

В то же время средние многолетние климатические данные, полученные в 1960–70-е годы и используемые в расчетах сушки кускового торфа в радиационно-конвективном режиме, существенно отличаются от данных, наблюдаемых при современном потеплении климата. За период инструментальных наблюдений с конца 19 столетия произошли существенные изменения газового и аэрозольного состава атмосферы, что привело к изменению коротковолновой и длинноволновой солнечной радиации и, как следствие, атмосферной циркуляции [10]. По данным авторов, изменилась также и среднегодовая температура воздуха: в текущем столетии (2011–2017 гг.) она стала на 1,3 °C выше, чем за период с 1881 по 2017 г. Одновременно с ростом средней температуры воздуха увеличилась и повторяемость периодов с аномально жаркой погодой. Что касается осадков, в изменении их количества за теплый период года (апрель–октябрь) не прослеживается четко выраженных тенденций: среднегодовое количество осадков за период с 1881 по 2018 г. составило 445,3 мм, за период с 2001 по 2018 г. – 447,2 мм. Авторы отмечают, что статистически значимых различий осадков в разные месяцы во все временные периоды года не отмечалось. Однако в отдельные месяцы их количество существенно отличается от средних значений, что связано с интенсивной циклонической деятельностью в этот период.

По нашим наблюдениям особенно характерен в этом отношении 2020 г. Так, в районе расположения торфяного месторождения «Туршевка–Чертово» суммарные осадки (за двое суток) за 29.06 и 30.06 составили 63 мм, за 13.07 – 43 мм, а за 28.07 и 29.07 – 114 мм, т. е. почти 1,5 месячной июльской нормы. Относительная влажность верхнего разрабатываемого слоя залежи (0,3 м) в эти дни находилась в пределах от 89,0 до 92,0 %, при нормативной – не более 84,0 %. Такие погодные и эксплуатационные условия на 3–5 суток прерывали процесс добычи и сушки сформованной продукции.

Теоретические вопросы сушки торфяной продукции включают не только технологические параметры, но базируются в том числе и на изменении параметров климата, которые содержат не только трендовую компоненту (потепление климата), но и мощную циклическую составляющую, что делает прогноз изменений радиационно-конвективного режима сушки крайне сложным.

#### Список используемых источников

1. Оценить пригодность торфяных запасов Республики Беларусь как технологического сырья для производства углеродных сорбентов : отчет о НИР (промежуточный) / Ин-т проблем использ. природ. ресурсов и экологии НАН Беларуси. – Минск, 1999. – 78 с. – № ГР 19993950.
2. Горбутович, Г. Д. О поверхности-послойном способе добычи кускового торфа машинами МПДК и КДН / Г. Д. Горбутович, Б. Д. Паремский // Торфяная промышленность. – М., 1949. – № 4. – С. 15–17.
3. Можар, И. В. Добыча гранулированного торфа методом щелевого фрезерования залежи / И. В. Можар, Р. В. Удалинкина, Н. Я. Полевая // Комплексное использование торфа : сб. тр. ; редкол.: Г. Д. Горбутович [и др.]. – М. : Недра, 1965. – С. 246–253.

4. Костюк, Н. С. Производство мелкокускового торфа / Н. С. Костюк, Ф. С. Яцевич. – Минск : Наука и техника, 1975. – 136 с.
5. Чистый, И. Н. Производство гранулированного торфа / И. Н. Чистый. – Минск : Наука и техника, 1980. – 144 с.
6. Торф топливный кусковой. Технические условия. СТБ 2202-2011. – Введен. 01.01.2012. – Минск, 2012.
7. Справочник по торфу / под ред. А. В. Лазарева и С. С. Корчунова. – М. : Недра, 1982. – 759 с.
8. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – С. 351.
9. Антонов, В. Я. Технология полевой сушки торфа / В. Я. Антонов, Л. М. Малков, Н. И. Гамаюнов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1981. – 239 с.
10. Логинов, В. Ф. Изменение климата Беларуси / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, В. И. Мельник. – Минск : НАН Беларуси, Институт природопользования, 2020. – 263 с.

### References

1. *Otsenit prigodnost torfyanykh zapasov Respubliki Belarus kak tekhnologicheskogo syria dlya proizvodstva uglerodnykh sorbentov* [To assess the suitability of peat reserves of the Republic of Belarus as the technological raw materials for the production of carbon sorbents (intermediate)]. *Otchet o NIR (promezhutochnyi)* [Research report (interim)]. Institute of Problems of Use of Natural Resources and Ecology of the NAS of Belarus. Minsk, 1999, 78 p. St. Reg. no. 19993950. (in Russian)
2. Gorbutovich G. D., Paremskij B. D. *O poverhnostno-poslojnom sposobe dobychi kuskovogo torfa mashinami MPDK i KDN* [About the surface-layer mining method of extracting lump peat by machines MPDK and KDN]. *Torfyanaaya promyshlennost'*, Moscow, 1949, no. 4, pp. 15–17. (in Russian)
3. Mozhar I. V., Udalinkina R. V., Polevaya N. Ya. *Dobycha granulirovannogo torfa metodom shchelevogo frezervaniya zalezhi* [The extraction of granular peat by the method of slot milling of the deposit]. *Kompleksnoe ispol'zovanie torfa. Sbornik trudov* [Proc. 'Integrated use of peat']. Ed. board G. D. Gorbutovich [et al.]. Moscow, 1965, pp. 246–253. (in Russian)
4. Kostyuk N. S., Yacevich F. S. *Proizvodstvo melkokuskovogo torfa* [The production of small lump peat]. Minsk, Science and Technology Publ., 1975, 136 p. (in Russian)
5. Chisty I. N. *Proizvodstvo granulirovannogo torfa* [The production of granulated peat]. Minsk, Science and Technology, 1980. 144 p. (in Russian).
6. STB 2202-2011 "Torf toplivnyj kuskovoj. Tekhnicheskie usloviya" [State standard of the Republic of Belarus 2202-2011. Fuel lump peat. Technical conditions]. Minsk, 2012. (in Russian)
7. *Spravochnik po torfu* [Reference of peat]. Ed. A. V. Lazareva and S. S. Korchunova. Moscow, Nedra Publ., 1982, 759 p. (in Russian)
8. Dospekhov B. A. *Metodika polevogo opyta* [The technique of field experiment]. Moscow, 1985, p. 351. (in Russian)
9. Antonov V. Ya., Malkov L. M., Gamayunov N. I. *Tekhnologiya polevoj sushki torfa* [The technology of field drying of peat]. Moscow, Nedra Publ., 1981, 239 p. (in Russian)
10. Loginov V. F., Lysenko S. A., Mel'nik V. I. *Izmnenie klimata Belarusi* [The climate change in Belarus]. Minsk, 2020, 263 p. (in Russian)

### Информация об авторах

**Виктор Болеславович Кунцевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

**Татьяна Ивановна Макаренко** – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: Makarenko.ip@mail.ru

### Information about the authors

**Victor B. Kuntsevich** – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

**Tatiana I. Makarenko** – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: Makarenko.ip@mail.ru

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2020-2-103-108>

УДК 536.246.2

Поступила в редакцию 16.10.2020

Received 16.10.2020

## УГЛЕРОД И ТОПЛИВО ИЗ РЕЗИНОТЕХНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Г. И. Журавский<sup>1</sup>, М. И. Нитиевский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларусь, Минск, Беларусь;

<sup>2</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Модум-Техно», Минск, Беларусь

**Аннотация.** Приведены результаты исследований термолиза резинотехнических отходов в среде перегретого водяного пара. Показано, что в результате фракционирования из жидких продуктов термолиза отходов могут быть получены бензиновая и дизельная фракции топлива. Предложено использовать композитную смесь жидких и твердых продуктов термолиза отходов в качестве сырья для получения высокосортного технического углерода. Выполненные исследования показали, что при использовании композитной смеси продуктов термолиза резинотехнических отходов в качестве сырья может быть получен высокосортный технический углерод. Описана технологическая линия получения технического углерода из продуктов термолиза изношенных шин. Анализ золы, образующейся в процессе сжигания композитной смеси, показывает, что в ее состав входят соединения железа, цинка и кремния. Поэтому данная зора представляет интерес как высококачественное сырье для получения оксида цинка как одного из основных ингредиентов резиновых смесей.

**Ключевые слова:** резинотехнические отходы; паровой термолиз; углерод; топливо.

**Для цитирования.** Журавский Г. И., Нитиевский М. И. Углерод и топливо из резинотехнических отходов // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 103–108.

## CARBON AND FUEL FROM RUBBER WASTE

G. I. Zhuravsky<sup>1</sup>, M. I. Nitievski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus;

<sup>2</sup>Modum-Techno Limited, Minsk, Belarus

**Abstract.** The results of studies of thermolysis waste in the environment of overheated water vapor are presented. It is shown that as a result of fractionation from liquid waste thermolysis products, gasoline and diesel fuel fractions can be obtained. It is proposed to use a composite mixture of liquid and solid waste thermolysis products as raw materials for high-grade technical carbon. Studies have shown that high-grade technical carbon can be obtained as raw materials using a composite mixture of rubber waste thermolysis products as raw materials. The technological line of obtaining technical carbon from the products of thermolysis of worn tires is described. Analysis of the ash produced by the process of burning the composite mixture shows that it contains compounds of iron, zinc and silicon. Therefore, this ash is of interest as a high-quality raw material for the production of zinc oxide, as one of the main ingredients of rubber mixtures.

**Keywords:** rubber waste; steam thermolysis; carbon; fuel.

**For citation.** Zhuravsky G. I., Nitievski M. I. Carbon and Fuel from Rubber Waste. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 103–108.

**Введение.** Важной проблемой переработки резинотехнических отходов является низкое качество получаемых продуктов, в частности, технического углерода, который требует специальной доработки для получения коммерческого продукта. Именно по этой причине, а также ряду обстоятельств, связанных с неэффективными теплотехническими решениями при создании реакторов, потерпели неудачу попытки известных компаний создать эффективное оборудование для пиролиза изношенных шин (Kobe Steel в Японии, Tosco в США, Tyrolysis в Англии, Ebenhausen в Германии).

Твердые продукты пиролиза резинотехнических отходов содержат большое количество (до 10–15 мас.%) неорганических составляющих (золы) в виде оксидов металлов и серы (1–3 мас.%). Как показывают исследования, зора твердых продуктов является частично растворимой (до 1–2 мас.%). Поэтому одним из вариантов снижения зольности твердых продуктов является их обработка водой.

Основными представителями неорганической составляющей в твердых продуктах являются ZnO, ZnS, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, окислы железа. Состав неорганических составляющих зависит от тем-

пературы термического разложения. Например, концентрация ZnO с ростом температуры уменьшается, а концентрация ZnS увеличивается. Это связано с тем, что ZnS может образоваться в результате реакции  $ZnO + S \rightarrow ZnS + \frac{1}{2}O_2$ .

Качественные показатели (зольность, выход летучих, содержание серы и цинка, дисперсность, удельная поверхность и др.) твердых и жидкого продуктов пиролиза резиновых отходов изменяются в значительных пределах (в зависимости от состава исходного сырья). В связи с этим не представляется возможным на основе таких продуктов без технически сложной и дорогостоящей переработки получить высокосортный технический углерод со стабильными качественными показателями.

Поэтому в настоящее время в мире интенсивно проводятся работы, направленные на создание комплексных технологических процессов и оборудования, которые обеспечили бы возможность возврата продуктов пиролиза резиновых отходов (твердых и жидкого) в резинотехническую промышленность в качестве заменителей высокосортного технического углерода, пластификаторов, либо производства композиционных топлив или жидкого топлива из отходов [1–5].

**Термолиз резинотехнических отходов.** Термолиз резины при температурах до 500–600 °C практически не оказывает влияния на качественные показатели технического углерода, содержащегося в твердых продуктах разложения. Дальнейшее повышение температуры в присутствии водяных паров в реакторе приводит к интенсификации процессов взаимодействия углерода с водяным паром, в результате которого часть углерода расходуется на образование оксида углерода и при этом снижаются качественные показатели технического углерода.

Известно, что твердые продукты пиролиза содержат значительное золы и некоторое количество (5–15 %) летучих продуктов (углеводородов, которые остаются в твердых продуктах после пиролиза отходов).

Твердые продукты с такими показателями не пригодны к использованию в качестве технического углерода. Поэтому данные продукты необходимо дополнительном обрабатывать, что представляет значительные технические сложности. В первую очередь потому, что частицы золы в твердых продуктах связаны (соединены) с частицами углерода и требуется дополнительная технологическая операция (длительное механическое измельчение с большими энергетическими затратами) для разделения частиц золы и углерода, чтобы на последующих стадиях отделить высокосортный технический углерод, который использовался при изготовлении резины, от частиц золы.

Представляется перспективным использовать термический метод разделения частиц золы и углерода и удаления летучих продуктов, сущность которого состоит в следующем.

При нагревании происходит термическое разложение смеси жидкого продуктов (жидкой фракции термолиза отходов) с углеродным остатком, что позволяет одновременно с получением технического углерода (образуется в результате термического разложения жидкого продуктов) осуществить прогрев и прокаливание углеродного остатка, в результате чего из него удаляются остаточные летучие продукты, выгорают сернистые соединения, разрушаются сростки частиц золы и углерода, происходит измельчение частиц углеродного остатка.

Данные эффекты приводят к тому, что углеродный остаток обогащается углеродом и снижается содержание водорода, т. е. устанавливается требуемое по показателям качества атомное отношение водорода к углероду (H : C). В противном случае (при более высоких значениях атомного отношения водорода к углероду) углеродный остаток будет представлять собой не технический углерод, а кокс [5].

Для оценки возможности применения жидкого продуктов термолиза резинотехнических отходов в качестве сырья для получения высокосортного технического углерода выполнен анализ жидкой фракции термического разложения изношенных шин и на основании данного анализа произведена оценка качества данной фракции. Установлено, что в состав исходной жидкой фракции термолиза резинотехнических отходов входят масла (74,31 %), смолы (8,80), асфальтены (1,80), парафин (2,31 %), а коксуемость исходной составляет 0,7 % при допустимых 1,5 %. На основании этого можно сделать вывод, что по компонентному составу (низкое содержание смол и парафина), коксуемости, содержанию серы (0,75 % при допустимых 2,50 %) и содержанию воды (0,12 % при допустимых 1,00–1,50 %) исходная жидккая фракция может рассматриваться как потенциальное сырье для получения технического углерода.

**Топливо из продуктов термолиза резинотехнических отходов.** Рассмотрен вариант разделения исходной жидкой фракции на две составляющие: легкую фракцию с температурой кипения до 200 °C и тяжелую фракцию с температурой кипения в интервале 200–400 °C (табл. 1).

Количество легкой фракции, которая представляет собой аналог бензина, достигает величины 18 мас.%. Данная фракция может использоваться в первую очередь для получения моторных топлив (табл. 2).

Расчеты показывают, что содержание водорода в тяжелой фракции снижается в сравнении с исходной жидкостью и составляет 9,37 %, а содержание углерода повышается до величины 88,98 %.

**Таблица 1. Физико-химические характеристики жидких фракций**

**Table 1. Physical and chemical characteristics of liquid fractions**

Характеристика	Фракция	
	бензиновая	тяжелая
Внешний вид	Желтая жидкость	Темно-коричневая жидкость
Выход из сырья, мас. %	18,76	81,24
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	829,7	936,9
Содержание серы, мас. %	0,57	0,90
Октановое число	122	–
Йодное число	33,8	26,1
Начало кипения, °C	65	205
Конец кипения, °C	197	360
Температура вспышки в закрытом тигле, °C	37	104
Теплота сгорания, кДж/кг	41 000	39 000

**Таблица 2. Показатели тяжелой фракции жидких продуктов термолиза**

**Table 2. Indicators of a heavy fraction of liquid thermolysis products**

Показатель	Стандарт	Фактическое значение
Отношение Н : С	1,0–1,2	1,26
Характеризующий фактор	8,0–9,0	7,4
Индекс корреляции	95–105	63
Коэффициент ароматичности	140–170	144
Коксуюемость	Не выше 1,5	0,7
Содержание, мас. %:	Не выше:	
серы	2,5	0,75
воды	1,5	0,12
смол	9,0	8,80
асфальтенов	10,0	1,80
парафинов	7,0	2,31

Таким образом, тяжелая фракция (диапазон кипения 200–400 °C) жидких продуктов термолиза изношенных шин по основным показателям (см. табл. 2) удовлетворяет требованиям, предъявляемым к качественному жидкому сырью для производства технического углерода печным способом.

**Технический углерод из композитной смеси.** При смешивании измельченных твердых продуктов термолиза изношенных шин с жидкими продуктами образуется композитная смесь.

Рассмотрим смесь, содержащую 50 мас.% жидких и 50 мас.% измельченных твердых продуктов. В данное случае относительная плотность (по отношению к воде) такой смеси будет равна 1,1. Содержание углерода составит 86 мас.%, а водорода 7,3 мас.%. Для композитной смеси такого состава отношение Н : С, будет равно 1,02, что находится в диапазоне (1,0–1,2) показателя, характерного для высококачественного сырья для получения технического углерода печным способом.

Процесс получения высокосортного технического углерода из продуктов термолиза резинотехнических отходов включает практически все основные стадии (операции) производства технического углерода из жидкого сырья. Однако при этом необходима модернизация отдельных элементов оборудования (оборудование подготовки сырья, реакторный блок и блок выделения углерода из парогазовых продуктов).

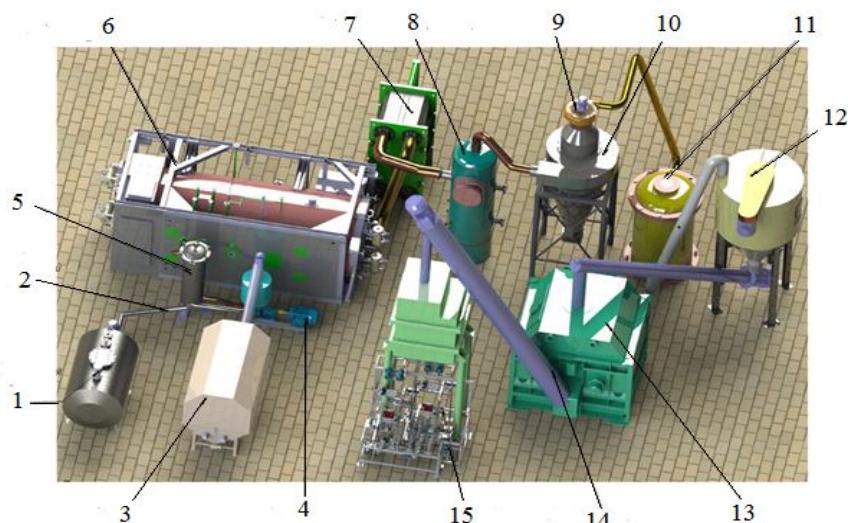
**Технологическая схема получения технического углерода.** Принципиальная технологическая схема получения высокосортного технического углерода из продуктов термолиза резинотехнических отходов приведена на рис. 1.

Композитную смесь получают путем подачи жидких продуктов из емкости 1 по трубопроводу 2 и измельченных твердых из бункера 3 в насос-диспергатор 4, в котором и производят смешивание данных продуктов. Из насоса-диспергатора 4 через фильтр 5 в реактор 6 подают композитную смесь и от подогревателя воздуха 7 в реактор 6 – нагретый воздух, и сжигают композитную смесь с недостатком воздуха.

Часть композитной смеси сгорает, а часть термически разлагается с образованием технического углерода. Газовый поток с частицами технического углерода из реактора 6 выводят в холодильник 8 и быстро охлаждают. С помощью газодувки 9 из холодильника 8 охлажденный поток выводят в циклон 10, в котором осаждают основную часть частиц технического углерода. Далее газовый поток из циклона 10 пропускают через фильтр 11, в котором улавливают остаточные частицы технического углерода. Газы после фильтра 11 подают на сжигание в реактор 6. Из циклона 10 и фильтра 11 технический углерод подают в бункер уплотнитель 12, из которого далее технический углерод подают в гранулятор 13 и гранулируют.

Гранулы технического углерода из гранулятора 13 с помощью транспортера 14 подают в аппарат упаковки 15 и загружают в стандартные мешки для углерода.

В реакторе 1 протекает неполное сгорание смеси, в результате чего за счет выделяющейся теплоты происходит термическое разложение углеводородов, содержащихся в жидкой фракции, образуются технический углерод и горючие газы.



**Рис. 1. Технологическая линия получения технического углерода из продуктов термолиза отходов:**

1 – емкость для жидкых продуктов; 2 – трубопровод; 3 – бункер для твердых продуктов; 4 – насос-диспергатор; 5 – фильтр; 6 – реактор; 7 – подогреватель воздуха ; 8 – холодильник; 9 – газодувка; 10 – циклон; 11 – фильтр; 12 – бункер уплотнитель; 13 – гранулятор; 14 – транспортер; 15 – аппарат упаковки

**Fig. 1. Technology line of obtaining technical carbon from waste thermolysis products:**  
**1 – capacity for liquid products; 2 – pipeline; 3 – solid food bunker; 4 – pump-dispersor; 5 – filter;**  
**6 – reactor; 7 – air heater; 8 – refrigerator; 9 – gas blower; 10 – cyclone; 11 – filter; 12 – bunker seal;**  
**13 – granulator; 14 – transporter; 15 – packaging machine**

Углерод твердого остатка частично сгорает, а частично нагревается до температуры 1200 °С и при этом из углеродного остатка удаляются остаточные углеводороды и сернистые соединения, за счет чего развивается удельная поверхность.

В процессе горения композитной смеси происходит выделение из твердых продуктов неорганических составляющих в виде отдельных частиц различной формы. Выделение составляющих в виде отдельных частиц приводит к снижению содержания данных составляющих в образующемся техническом углероде.

Данные эффекты приводят к тому, что твердые продукты обогащаются углеродом и происходит снижение содержания водорода, т. е. устанавливается требуемое по показателям качества атомное отношение водорода к углероду (Н : С). В противном случае (при более высоких значениях атомного отношения водорода к углероду) углеродный остаток будет представлять собой не технический углерод, а кокс.

Анализ неорганических составляющих, выделяющихся в процессе сжигания композитной смеси, показывает, что в их состав входят соединения железа, цинка и кремния. Поэтому данная зола представляет интерес как высококачественное сырье для получения оксида цинка как одного из основных ингредиентов резиновых смесей.

Выполненные исследования показывают, что при использовании композитной смеси продуктов термолиза резинотехнических отходов в качестве сырья может быть получен высокосортный техни-

ческий углерод в количестве (в расчете на 1000 кг смеси) до 396 кг (106 кг из жидкой фракции и 290 кг из твердых продуктов).

Показатели технического углерода в сравнении с серийным углеродом марки № 330 приведены в табл. 3.

**Таблица 3. Показатели технического углерода в сравнении с серийным углеродом № 330**

**Table 3. Technical carbon vs. serial no. 330 carbon**

Показатель	Образец	Норма для № 330
Йодное число, г/кг	105	78–86
Абсорбция ДБФ, см <sup>3</sup> /100 г	87	88–96
Массовая доля потерь при 125 °С, %	≤0,6	≤0,7
Светопропускание толуольного экстракта, %	97	≥90
Массовая доля остатка после просева через сито с сеткой 05К, %	0,001	≤0,001
pH водной суспензии	7,5	7,0–9,0
Массовая доля общей серы, %	1,05	≤1,10
Зольность, %	0,45	≤0,45

**Опытные испытания технического углерода из продуктов термолиза.** Паровой термолиз изношенных автошин и получение композитной смеси твердых и жидким продуктов разработаны в Институте тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларусь [4, 5].

В результате сотрудничества с компанией АЛЬФА РЕСИКЛАЖ ФРАНС КОНТЕ (Франция) в 2015 г. ООО «Модум-Техно» создано и поставлено оборудование термолизной переработки изношенных автошин для предприятия по переработке резинотехнических отходов.

Производимый на данном предприятии технический углерод был испытан в качестве заменителя высокосортного технического углерода при производстве резинотехнических изделий. Партия технического углерода в количестве 400 кг была поставлена на ОАО «Чеховский регенераторный завод» (г. Чехов, Московская область) в 2016 г. с целью отработки рецептур резиновых смесей.

В условиях производства были свулканизированы плиты дорожные размерами 500 × 250 × 40 (мм). Вся партия опытной резиновой смеси переработана на изготовление резиновых деталей «Дорожные плиты» и «Лежачий полицейский», прошла испытания и сдана заказчику (рис. 2).



**Рис. 2. Резиновые детали дорожных плит**

**Fig. 2. Rubber details of road slabs**

Таким образом, в условия промышленного производства отработаны рецептуры резиновых смесей при полной замене серийного технического углерода на технический углерод из изношенных автошин, произведены резинотехнические изделия, удовлетворяющие установленным требованиям, и тем самым обоснована возможность использования в резинотехнической промышленности технического углерода из изношенных автошин.

**Заключение.** Термолиз резинотехнических отходов позволяет получать жидкие и твердые продукты, которые могут использоваться как сырье для производства технического углерода, адсорбентов, аналогов мазута или для получения моторных топлив. При этом обеспечивается высокая энергетическая эффективность процесса переработки отходов за счет использования части жидких продуктов в качестве топлива.

Исследование процесса сжигания композитного топлива на основе измельченных твердых продуктов разложения отходов и жидкой фракции показывает, что такое топливо может быть применено в современных котельных установках вместо мазута и его сжигание по сравнению с мазутом обеспечивает более высокие экологические показатели.

#### **Список использованных источников**

1. Куликова, Ю. В. Анализ технологий утилизации полимерных композиционных материалов / Ю. В. Куликова, К. О. Тукачева // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2017. – № 4. – С. 103–122.
2. Ивановский, В. И. Технический углерод. Процессы и аппараты / В. И. Ивановский. – Омск : Техуглерод, 2004. – 220 с.
3. Внукова, Н. А. Рециклинг изношенных шин / Н. А. Внукова, Е. А. Позднякова. – Харьков : Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 2013. – 260 с.
4. Zhuravskii, G. I. Thermolysis of Polymeric Composite Materials / G. I. Zhuravskii // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2019. – Vol. 92, № 3. – P. 604–607.
5. Технология и оборудование для переработки резинотехнических отходов / Г. И. Журавский, Д. В. Аристархов, А. С. Матвеичук // Экология и промышленность России. – 2012. – Апрель. – С. 4–7.

#### **References**

1. Kulikova J. V., Tukachova K.O. *Analiz technologii utilizacii polimernich kompozicionnykh materialov* [Analysis of polymer composite materials recycling technologies]. *Transport. Transportnye sooruzheniya. Ecologia = Transport. Transport facilities. Ecology*, 2017, no. 4, pp. 103–122. (in Russian)
2. Ivanovski V. I. *Techicheski uglerod. Processsy i apparaty* [Technical carbon. Processes and devices]. Omsk, 2004, 220 p. (in Russian)
3. Vnukova N. A., Pozdnyakova E. A. *Recikling iznoschennych schin* [Recycling worn tires]. Charkov, 2013, 260 p. (in Russian)
4. Zhuravskii G. I. *Termoliz polirnernich kompozicionnykh materialov* [Thermolysis of Polymeric Composite Materials]. *Zhurnal ingenernoi fiziki i termofiziki = Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2019, vol. 92, no. 3, pp. 604–607.
5. Zhuravskii G. I., Aristarchov D.V., Matveichuk A.S. *Technologiya i oborudovanie dlya pererabotki rezinotechnicheskikh otchodov* [Technology and equipment for recycling rubber and technical waste]. *Ecologia i promishlennost Rossii = Russia's ecology and industry*, 2012, April, pp. 4–7. (in Russian)

#### **Информация об авторах**

*Жураевский Геннадий Иванович* – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт теплопередачи и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларусь (ул. П. Бровки, 15, 220072, г. Минск, Беларусь). E-mail: gena.zhuravsky@gmail.com

*Нитиевский Максим Иванович* – инженер, общество с ограниченной ответственностью «Модум-Техно» (ул. Володко, 6, 220007, г. Минск, Беларусь). E-mail: nitievski@modum-techno.by

#### **Information about the authors**

*Gennadi I. Zhuravsky* – D. Sc. (Technical), Chief Researcher, A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (15, P. Brovka Str., 2200072, Minsk, Belarus). E-mail: gena.zhuravsky@gmail.com

*Maksim I. Nitievski* – engineer, Modum-Techno Limited, (6, Volodko Str., 22000, Minsk, Belarus). E-mail: nitievski@modum-techno.by

## ТЕРМОЛИЗ НЕФТЯНЫХ ОТХОДОВ

Г. И. Журавский<sup>1</sup>, В. А. Криворот<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларусь

<sup>2</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Модум-Техно», Минск, Беларусь

**Аннотация.** На основании комплекса исследований термической обработки различных видов нефтяных отходов разработан технологический процесс, создано оборудование и показана возможность эффективного извлечения углеводородов из нефтяных отходов, а также экспериментально с применением опытного оборудования, реализующего процесс парового термолиза органических материалов, обоснована технология переработки широкого спектра отходов с получением аналогов котельных и моторных топлив.

**Ключевые слова:** нефтяные отходы; термическая обработка; технологический процесс.

**Для цитирования.** Журавский Г. И., Криворот В. А. Термолиз нефтяных отходов // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 109–114.

## THERMOLYSIS OF OIL WASTE

G. I. Zhuravsky<sup>1</sup>, V. A. Krivorot<sup>2</sup>

<sup>1</sup>A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus,

Minsk, Belarus;

<sup>2</sup>Modum-Techno Limited, Minsk, Belarus

**Abstract.** Based on a set of thermal management studies of various types of oil waste, a process has been developed, equipment has been created and the possibility of effective extraction has been shown hydrocarbons from oil waste, as well as experimentally using experimental equipment that implements the process of steam thermolysis of organic materials, justified the technology of processing a wide range of waste with the receipt of analogues boiler and motor fuels.

**Keywords:** oil waste, thermal treatment, technological process.

**For citation.** Zhuravsky G. I., Krivorot V. A. Thermolysis of oil waste. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 109–114.

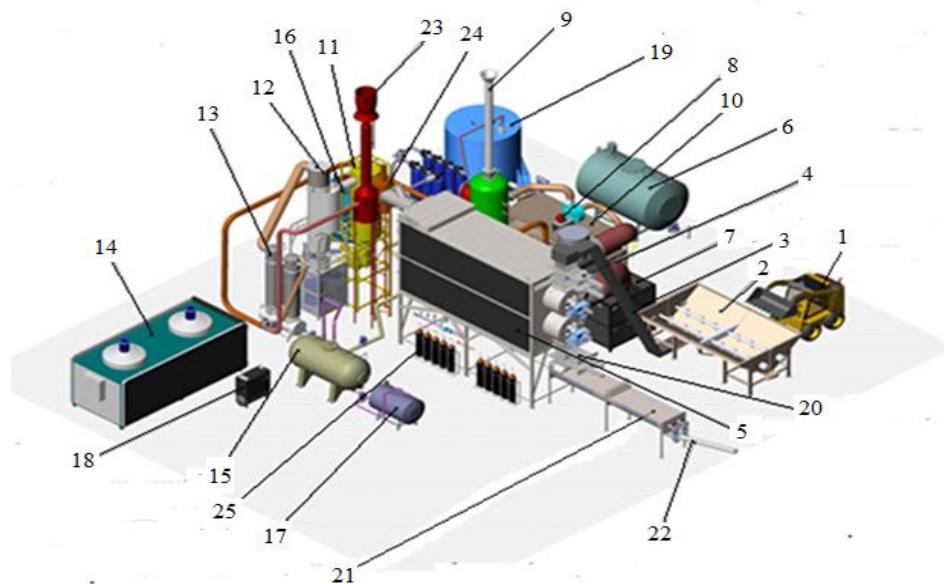
**Введение.** Основными крупнотоннажными видами органических отходов, которые постоянно накапливаются и представляют высокую опасность для окружающей среды, являются нефтяные отходы, количество которых достигает 2,5–3,0 % от ежегодно добываемой нефти, и составляет в мире примерно 75 млн т.

Следует учесть и тот факт, что за годы добычи нефти количество накопившихся нефтяных отходов в мире в десятки раз превышает их ежегодное образование и при этом под их хранилища отведены большие территории. Например, только в Российской Федерации под хранилища образующихся нефтяных отходов ежегодно отводится территория примерно в 30 гектаров, которая на долгие годы выводится из хозяйственного использования [1].

В настоящее время для переработки нефтяных отходов используются термические, химические, механические, биологические, сорбционные, методы закачки в пласт. Однако, как показывает практика, происходит непрерывный рост накопления отходов, в результате чего создается угрожающая экологическая обстановка в местах их образования и накопления.

Перспективным направлением создания новых методов и оборудования для переработки нефтяных отходов с получением востребованных сырьевых и топливных ресурсов представляется термохимическая конверсия (термолиз) в среде перегретого водяного пара [2–4].

**Термолиз нефтяных отходов в паровой среде.** Для опытных испытаний парового термолиза отходов была разработана, изготовлена и введена в действие технологическая линия, которая схематически представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Технологическая линия парового термолиза отходов:**

1 – погрузчик; 2 – узел загрузки реактора; 3 – транспортер загрузки; 4 – клапан загрузки; 5 – реактор термолиза; 6 – емкость с топливом; 7 – топка; 8 – вентилятор дымовых газов; 9 – скруббер; 10 – парогенератор; 11 – горячий циклон; 12 – конденсатор тяжелых фракций; 13 – конденсатор парогазовой смеси; 14 – холодильник; 15 – сепаратор-отстойник; 16 – емкость неочищенной воды; 17 – накопитель жидких продуктов термолиза; 18 – компрессор; 19 – узел подготовки воды; 20 – клапан выгрузки; 21 – транспортер выгрузки; 22 – транспортер выгрузки наклонный; 23 – система аварийного сжигания; 24 – клапан высокотемпературный; 25 – система пожаротушения

**Fig. 1. Technology line of steam thermolysis waste:**

1 – loader; 2 – reactor loading node; 3 – load transporter; 4 – loading valve; 5 – thermolysis reactor; 6 – fuel tank; 7 – furnace; 8 – a fan of smoke gases; 9 – scrubber; 10 – steam generator; 11 – hot cyclone; 12 – heavy fraction capacitor; 13 – vapor mixture capacitor; 14 – refrigerator; 15 – separator-septic tank; 16 – the capacity of untreated water; 17 – a storage of liquid thermolysis products; 18 – compressor; 19 – water preparation node; 20 – unloading valve; 21 – unloading transporter; 22 – transporter unloading sloping; 23 – emergency combustion system; 24 – high-temperature valve; 25 – fire suppression system

Технологическая линия парового термолиза нефтяных отходов установлена на территории компании ООО «Промышленно-транспортная корпорация» (г. Ангарск, Россия). С помощью данного оборудования экспериментально в опытно-промышленных условиях обоснована технология термолизной переработки нефтяных отходов.

Работа линии осуществляется следующим образом. С помощью погрузчика 1 отходы, например нефтяные, загружают в узел загрузки 2, из которого с помощью транспортера 3 через клапан загрузки 4 отходы подают в реактор термолиза 5. При этом клапан загрузки обеспечивает дозированную подачу отходов и препятствует попаданию воздуха в реактор.

Из емкости с топливом 6 в топку 7 с заданным расходом подают топливо и сжигают, а продукты сгорания с помощью вентилятора дымовых газов 8 пропускают через рубашку обогрева реактора и затем через скруббер 9 выбрасывают в атмосферу.

От парогенератора 10 непосредственно в реактор 5 подают перегретый водяной пар. В реакторе 5 в результате нагрева отходов в среде перегретого водяного пара происходит их термическое разложение (термолиз) с образованием смеси в виде газообразных продуктов термолиза и водяного пара. Данную парогазовую смесь из реактора 5 непрерывно через горячий циклон 11 и конденсатор тяжелых фракций 12 выводят в конденсатор парогазовой смеси 13. В горячем циклоне осаждают мелкие частицы образующейся в реакторе твердой фракции, которые частично выводятся из реактора 5 с потоком парогазовой смеси, а в конденсаторе тяжелых фракций осаждают высокомолекулярные продукты термолиза отходов.

В конденсаторе 13 парогазовую смесь охлаждают путем прокачки от холодильника 14 воды через рубашку конденсатора, в результате чего происходит конденсация водяного пара и части газообразных продуктов термолиза с образованием жидкой смеси, которую из конденсатора 13 подают в сепаратор-отстойник 15. Из сепаратора-отстойника 15 воду подают в емкость неочищенной воды 16,

а жидкие продукты термолиза – в накопитель 17. С помощью компрессора 18 из конденсатора 13 неконденсирующиеся продукты термолиза подают в топку 7 и сжигают, что позволяет снизить расход топлива на процесс термолиза. Неочищенную воду из емкости 16 подают в узел подготовки воды 19, в котором воду очищают от продуктов термолиза отходов и подают в парогенератор 10 для получения рабочего водяного пара.

Твердые продукты термолиза из реактора 5 через клапан выгрузки 20 подают в охлаждаемый транспортер выгрузки 21, где путем прокачки охлаждающей воды через рубашку транспортера данные продукты охлаждают и затем с помощью наклонного транспортера выгрузки 22 подают на склад, или на последующую переработку.

При необходимости остановки линии из реактора 5 парогазовую смесь выводят в систему аварийного сжигания 23 через клапан высокотемпературный 24 и сжигают, а в реактор от системы пожаротушения 25 подают инертный газ. Новые технические решения, использованные при создании технологической линии термолиза нефтяных отходов, запатентованы [5].

**Продукты парового термолиза.** В процессе термолиза нефтяных отходов происходит ряд превращений органического вещества в несколько стадий в зависимости от температуры нагрева.

При нагреве до температуры 300 °C в результате развития реакций термической деструкции и параллельного протекания необратимых реакций окисления, поликонденсации и полимеризации ароматических структур, разложения органоминеральных комплексов образуются жидкие продукты термолиза и горючий газ, а при дальнейшем нагреве до 400 °C образуется в основном водород и непредельные углеводороды. При более высокой температуре (600 °C и выше) наступает момент начала образования жесткой структуры полуоксса. Выше этих температур протекают дальнейшие термохимические превращения, происходящие в твердой фазе, соответствующие переходу полуоксовой структуры в коксовую, и вторичные процессы – взаимодействие образующейся парогазовой смеси с твердой фазой.

Для проведения экспериментов использовались наиболее характерные виды нефтяных отходов, характеристики которых приведены в табл. 1.

**Таблица 1. Характеристика нефтяных отходов**

**Table 1. Characteristics of oil waste**

Сырье	Состав	Содержание, мас. %
Шлам локальных нефтеотделительных установок	Нефтепродукты Вода Механические примеси	42,7 56,4 0,9
Шлам очистки резервуаров для хранения бензина, дизтоплива, мазута	Нефтепродукты Вода Механические примеси	80,2 15,7 4,1
Нефтезагрязненный грунт	Нефтепродукты Вода Механические примеси	38,8 18,0 43,2

В конечном результате термолиза нефтяных отходов образуется неконденсирующийся газ, а также жидкие продукты и твердый остаток, вид которых показан на рис. 2 и 3.

Неконденсирующийся газ представляет собой парогазовую смесь, состоящую из водяного пара (менее 10 мас.%) и паров углеводородов.

Количество образующихся паров углеводородов зависит от вида исходного сырья и среднем составляет 2–6 % от массы отходов. Неконденсирующийся газ полностью направляют на сжигание для получения тепловой энергии и обогрева реактора парового термолиза нефтяных отходов.

Образующиеся при термолизе нефтяных отходов жидкие продукты представляют собой смесь воды (образовалась при конденсации водяного пара) и нефтепродуктов, извлеченных из отходов. В зависимости от вида нефтяных отходов содержание в жидких продуктах в среднем составляет: воды – от 10 до 25 мас.%, нефтепродуктов – от 75 до 90 мас.%. Из жидких продуктов выделяют нефтепродукты, представляющие собой смесь углеводородов.

Основной состав твердого остатка и показатели жидких продуктов термолиза нефтяных отходов приведены в табл. 2 и 3.



Рис. 2. Жидкие продукты

Fig. 2. Liquid products



Рис. 3. Твердый остаток

Fig. 3. Solid balance

**Таблица 2. Основной состав твердого остатка термолиза нефтяных отходов****Table 2. The main composition of the solid residue of oil waste thermolysis**

Анализируемый показатель (компонент)	Содержание компонентов, мас. %
Углерод (сажа)	4,33
Натрия оксид	1,68
Магния оксид	3,15
Алюминия оксид	16,70
Кремния оксид	60,81
Калия оксид	1,70
Кальция оксид	11,30
Титана оксид	0,33

Исходя из анализа состава, можно сделать вывод, что твердый остаток термолиза нефтяных отходов относится к 4-му классу опасности и может найти применение в строительной отрасли для производства стройматериалов как наполнитель, а также отсыпки дорожного плотна.

**Таблица 3. Показатели жидких продуктов термолиза нефтяных отходов****Table 3. Indicators of liquid products of oil waste thermolysis**

№	Показатель	Единица измерения	Значение показателя
1	Плотность при 20 °C	кг/м <sup>3</sup>	920
2	Массовая доля воды	%	8
3	Массовая доля примесей	%	0,11
4	Коксуемость	%	4,4
5	Зольность	%	0,004
6	Содержание серы	%	1,9
7	Температура вспышки в закрытом тигле	°C	<0
8	Удельная теплота сгорания	кДж/кг	38 000
9	Процент отгона	%	74
10	Выход фракций: начало кипения 170 °C 170–345 °C 345–360 °C	%	16 54 8

Как следует из анализа табл. 3, при разгонке жидких продуктов термолиза отходов выход бензиновой фракции достигает 16 мас.%, а выход дизельной – 50 мас.%. Тяжелая фракция углеводородов составляет 8 мас.%.

Таким образом, в результате термолиза нефтяных отходов получаются жидкие продукты, из которых путем фракционной разгонки могут быть выделены ценные фракции в виде бензина и дизельного топлива.

Образующийся в результате термолиза твердый остаток содержит в основном неорганические составляющие и около 4 мас.% углерода. Остаток с такими показателями может быть использован в строительстве, а также в качестве адсорбента при ликвидации разливов нефтепродуктов. Испытания показали, что данный остаток может поглощать жидкие углеводороды в количестве, превышающем собственный вес.

**Воздействие на окружающую среду.** С целью определения экологических показателей технологии термолизной переработки отходов были выполнены экспериментальные исследования выбросов при переработке органических отходов, содержащих в том числе и нефтяные отходы.

Исследования проводились на территории компании «AIRBUS» (г. Тулуза, Франция), куда из г. Минска была доставлена экспериментальная установка. Отбор проб выбросов и их исследования выполняла фирма «NORISKO» (Франция), имеющая соответствующее оборудование и необходимые международные сертификаты для проведения подобного рода исследований. Технологический процесс включал паровой термолиз и сжигание газообразных продуктов разложения отходов.

Специалисты Института тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси принимали участие в проведении исследований, обеспечивая работу оборудования и контроль технологических параметров процесса термолиза отходов.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что по всем исследованным показателям технологический процесс удовлетворяет требованиям охраны окружающей среды. Особенно необходимо отметить, что процесс соответствует международным нормативам по выбросам стойких органических загрязнителей (диоксинов и др.).

**Заключение.** В результате экспериментальных исследований парового термолиза нефтяных отходов с использованием опытного оборудования обоснована возможность эффективной переработки нефтяных отходов с получением жидких углеводородов, которые содержат ценные топливные фракции и твердого остатка, который может найти применение в строительной отрасли промышленности, а также в качестве адсорбента при ликвидации разливов нефтепродуктов.

Проведенные опытные испытания термолиза нефтяных отходов в среде перегретого водяного пара показали, что в этом процессе в отличие от обычного пиролиза в среде продуктов сгорания (дымящих газов) подавляются процессы образования стойких органических загрязнителей.

#### Список использованных источников

1. Малышевский, А. Ф. Обоснование выбора оптимального способа обезвреживания отходов / А. Ф. Малышевский // Минприроды и экология Российской Федерации. – М., 2012. – 47 с.
2. Аристархов, Д. В. Паровой термолиз органических отходов / Д. В. Аристархов, Н. Н. Егоров, Г. И. Журавский ; под ред. акад. О. Г. Мартыненко. – Минск : Ин-т тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова, 2001. – 135 с.
3. Журавский, Г. И. Получение топлив на основе продуктов парового термолиза отходов / Г. И. Журавский, А. С. Матвеичук, П. Л. Фалюшин // Инженерно-физический журнал. – 2005. – Т. 78, № 4. – С. 58–62.
4. Журавский, Г. И. Топливо из отходов / Г. И. Журавский // Наука и инновации. – 2012. – № 9. – С. 10–13.
5. Способ переработки отходов композиционных материалов : пат. 13676 Респ. Беларусь. / Г. И. Журавский, В. А. Жданок, Н. И. Калацкий. – 2009.

#### References

1. Malyshevsky A. F. *Obosnovanie vybora optimalnogo sposoba obezvregivaniya tvergovych bytovych otchodov* [Justification for choosing the best way to neutralize solid household Waste]. Moscow, Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, 2012, 47 p. (in Russian)
2. Aristarchov D. V., Egorov N. N., Zhuravsky G. I. *Parovoy termolis organicheskikh otchodov* [Steam thermolysis of organic waste]. Under Ed. Acad. O. G. Martynenko. Minsk, A. V. Lykov Institute of Heat and Mass Transfer, 2001, 135 p. (in Russian)
3. Zhuravskii G. I., Matveichuk A. C., Falushin P. L. *Poluchenie topliv na osnove produktov parovogo termoliza otchodov* [Fuel extraction from products of steam thermolysis of organic waste]. *Inzhenerno-Fizicheski Zhurnal = Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2005, Vol. 78, no. 4, pp. 58–62. (in Russian)
4. Zhuravskii G. I. *Toplivo iz otchodov* [Fuel from waste]. *Nauka i innovazii= Science and innovations*, 2012, no. 9, pp. 10–13. (in Russian)
5. Zhuravskii G. I., Zhdanok V. A., Kalatski N. I. *Sposob pererabotki otchodov kompozicionnykh materialov* [Method of recycle waste composite material]. Patent 13676 Republic of Belarus, no. 13676. (in Russian)

### Информация об авторах

*Жураевский Геннадий Иванович* – доктор технических наук, главный научный сотрудник, Институт теплопереноса и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларусь (ул. П. Бровки, 15, 220072, г. Минск, Беларусь). E-mail: gena.zhuravsky@gmail.com

*Криворот Вячеслав Александрович* – инженер, общество с ограниченной ответственностью «Модум-Техно» (ул. Володько, 6, 220007, г. Минск, Беларусь). E-mail: nitievski@modum-techno.by

### Information about the authors

*Gennadi I. Zhuravsky* – D. Sc. (Technical), Chief Researcher, A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (15, P. Brovka Str., 220072, Minsk, Belarus). E-mail: gena.zhuravsky@gmail.com

*Viacheslav A. Krivorot* – engineer, Modum-Techno Limited, (6, Volodko Str., 22000, Minsk, Belarus). E-mail: nitievski@modum-techno.by

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫРАБОТАННОГО ТОРФЯНИКА НИЗИННОГО ТИПА ПОД ПОСАДКАМИ ВИРГИНИЛЬНЫХ РАСТЕНИЙ ГОЛУБИКИ ВЫСОКОРОСЛОЙ

**Ж. А. Рупасова<sup>1</sup>, А. П. Яковлев<sup>1</sup>, П. Н. Белый<sup>1</sup>, С. Ф. Жданец<sup>1</sup>, О. С. Козырь<sup>1</sup>,  
В. И. Домаш<sup>2</sup>, С. Г. Азизбекян<sup>3</sup>, И. И. Лиштван<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Центральный ботанический сад НАН Беларусь, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларусь, Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Институт физико-органической химии НАН Беларусь, Минск, Беларусь

<sup>4</sup>Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

**Резюме.** Приведены результаты двухлетнего (2017–2018 гг.) сравнительного исследования в опытной культуре на рекультивируемом участке выбывшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения низинного типа влияния полного минерального ( $N_{16}P_{16}K_{16}$ ) удобрения («Растворин» марки «Б»), а также созданных в учреждениях НАН Беларусь новых экологичных препаратов – микроудобрения Наноплант-8, включающего восемь микроэлементов – Co, Mn, Cu, Fe, Zn, Cr, Mo, Se, и органических удобрений Экосил и Гидрогумат на физико-химические и агрохимические свойства остаточного слоя торфяной залежи под посадками двухлетних виргинильных растений трех модельных сортов голубики высокорослой (*V. corymbosum* L.) – *Northcountry*, *Bluecrop* и *Northland*.

В оба года наблюдений во всех вариантах опыта на протяжении вегетационного периода в корнеобитаемом слое субстрата установлено увеличение относительно исходного уровня содержания легкогидролизуемого азота и обменного калия на фоне снижения содержания подвижного фосфора, сопровождавшееся в первом сезоне незначительным повышением уровня гидролитической кислотности при одновременном снижении суммы поглощенных оснований на фоне противоположных изменений данных показателей во втором сезоне. Использование всех видов удобрений оказывало существенное влияние на агрохимические свойства торфяного субстрата. В первый год их применения к концу сезона установлено значительное его обогащение относительно контроля преимущественно нитратной формой азота и обменным калием при отсутствии заметных изменений в содержании подвижного фосфора, тогда как на втором году их применения наблюдалось пополнение запасов аммонийного азота при преимущественном истощении запасов нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия при наибольшем проявлении данных эффектов на фоне использования НаноплANTA и органических удобрений, обеспечивающих наиболее интенсивное их расходование на формирование надземной сферы опытных растений.

**Ключевые слова:** низинный торф; сорта высокорослой голубики; Наноплант, Экосил, Гидрогумат, полное минеральное удобрение; азот, фосфор, калий, гидролитическая кислотность, обменные основания.

**Для цитирования:** Рупасова Ж. А., Яковлев А. П., Белый П. Н., Жданец С. Ф., Козырь О. С., Домаш В. И., Азизбекян С. Г., Лиштван И. И. Влияние минеральных и органических удобрений на физико-химические и агрохимические свойства выработанного торфяника низинного типа под посадками виргинильных растений голубики высокорослой // Природопользование. – 2020. – №. – С. 115–124.

## INFLUENCE OF MINERAL AND ORGANIC FERTILIZERS ON THE CHEMICAL AND AGROCHEMICAL PROPERTIES OF THE DEVELOPED LOWLAND PEAT DEPOSIT UNDER THE PLANTATION OF VIRGINAL PLANTS OF Highbush Blueberry

**Zh. A. Rupasova<sup>1</sup>, A. P. Yakovlev<sup>1</sup>, P. N. Bely<sup>1</sup>, S. F. Zhdanets<sup>1</sup>, O. S. Kozyr<sup>1</sup>,  
V. I. Domash<sup>2</sup>, S. G. Azizbekyan<sup>3</sup>, I. I. Lishtvan<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus;

<sup>2</sup>V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus;

<sup>3</sup>Institute of Physical Organic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus;

<sup>4</sup>Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**Abstract.** The article deals with the results of a biennial (2017–2018) comparative study of physico-chemical and agrochemical properties of the residual layer of a peat deposit under the plantation of two-year virginal plants of model *Vaccinium corymbosum* varieties (*Northcountry*, *Blucrop* and *Northland*) on a recultivated developed lowland peat deposit under introduction of complete mineral fertilizer ('Rastvorin' brand 'B', N16P16K16), microfertilizer (Nanoplant-8, including eight trace elements: Co, Mn, Cu, Fe, Zn, Cr, Mo and Se) and organic fertilizers (Ekosil and Gidrogumat).

In all variants of the experiment in both years of observations during the growing season in the root-inhabited layer, an increase relative to the initial level of the content of hydrolysable nitrogen and exchange potassium was found against the background of a decrease in the content of mobile phosphorus. In the first season, a slight increase in the level of hydrolytic acidity was registered, while the amount of absorbed bases decreased against the background of opposite changes in these indicators in the second season. In the first year of application of fertilizers by the end of the season, a significant enrichment of the substrate with mainly nitrate form of nitrogen and exchange potassium was established, with no noticeable changes in the content of mobile phosphorus. In the second year of application of fertilizers, there was a replenishment of ammonium nitrogen reserves with a predominant depletion of nitrate nitrogen, mobile phosphorus and exchange potassium (the greatest with Nanoplant and organic fertilizers treatment), which is due to the most intensive expenditure on the formation of the aboveground phytomass of experimental plants.

**Keywords:** lowland peat; varieties of highbush blueberry; Nanoplant, Ekosil, Gidrogumat, complete mineral fertilizer; nitrogen, phosphorus, potassium, hydrolytic acidity, exchange bases.

**For citation.** Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Bely P. N., Zhdanets S. F., Kozyr O. S., Domash V. I., Azizbekyan S. G., Lishvan I. I. Influence of mineral and organic fertilizers on the chemical and agrochemical properties of the developed lowland peat deposit under the plantation of virginal plants of highbush blueberry. *Nature Management*, 2020, no., pp. 115–124.

**Введение.** В связи с разработкой технологии фиторекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений низинного типа на основе создания локальных агроценозов интродуцированных сортов голубики высокорослой особого внимания заслуживают вопросы оптимизации минерального питания данной культуры. Ввиду этого представлялось необходимым дать комплексную оценку влияния на физико-химические и агрохимические свойства субстрата не только традиционно применяемого при ее возделывании полного минерального удобрения [1], но и новейших высокоэффективных отечественных органических удобрений – Экосила, содержащего природный комплекс тритерпеновых кислот [2], и Гидрогумата, действующим веществом которого являются гуматы – водорастворимые соли гуминовых кислот [3, 4]. Применение этих препаратов, на наш взгляд, является особо актуальным в связи с принятым в 2018 г. в республике Законом об органическом земледелии, существенно ужесточающим требования к качеству экологически чистой растениеводческой продукции, при производстве которой запрещено использование любых химических средств, в том числе минеральных удобрений. Наряду с этим представлялось целесообразным испытание на растениях голубики отечественного микроудобрения Наноплант-8, включающего восемь микроэлементов – Co, Mn, Cu, Fe, Zn, Cr, Mo, Se, и являющегося совместной разработкой Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича и Института физико-органической химии НАН Беларуси [5]. Предварительные испытания данного препарата на сорте *Blucrop V. corymbosum* на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве в Ганцевичском районе Брестской области подтвердили его высокую эффективность в плане увеличения урожайности и биометрических характеристик плодов, а также повышения содержания в них ряда биологически активных соединений с высокой антиоксидантной активностью [6].

В этой связи в 2017–2018 гг. в рамках полевого эксперимента на рекультивируемом участке торфяной залежи в Кличевском районе Могилевской области на фоне применения вышеуказанных препаратов и минеральных удобрений под посадками виргинильных растений голубики были выполнены сравнительные исследования физико-химических и агрохимических свойств торфяного субстрата.

Цель работы – провести сравнительную оценку влияния полного минерального и отечественных органических удобрений, а также Наноплант-8 на физико-химические и агрохимические свойства остаточного слоя торфяной залежи низинного типа.

**Методы исследований.** Полевой опыт с виргинильными растениями интродуцированных сортов голубики высокорослой *Northcountry*, *Blucrop* и *Northland* был заложен на участке среднекислого (рН<sub>KCl</sub> – 5,2–5,3), малоглодородного, содержащего в мг/кг: аммонийного и нитратного азота 114–200 и 26–110, Р<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O 130–135 и 50–93 соответственно, полностью лишенного растительности остаточного слоя низинного торфа высокой степени разложения, представленного тростниково-осоковой ассоциацией. Схема опыта включала пять вариантов в пятикратной повторности: 1 – контроль, без внесения удобрений; 2 – луночное внесение под опытные растения в мае и июне полного минерального удобрения N<sub>16</sub>P<sub>16</sub>K<sub>16</sub> кг/га д. в., или 5 г на 1 растение; 3 – некорневая обработка опытных растений препаратом Наноплант; 4 – луночное внесение под опытные растения препарата Гидрогумат методом полива; 5 – некорневая обработка опытных растений препаратом Экосил. В качестве полного минерального удобрения использовали «Растворин» марки «Б». Обработку надземных органов растений Экосилом проводили дважды за вегетационный период – в конце первой декады июня и в конце первой декады июля. Для приготовления рабочего раствора эмульсию Экосила (0,5 мл, или 15 капель) разводили в 3 л теплой воды (40–50 °C), после чего доводили до необходимого объема водой комнатной температуры и тщательно перемешивали. Расход рабочей жидкости при некорневой

подкормке составлял 120 мл/растение. Луночное внесение Гидрогумата проводили в те же сроки, что и при использовании препарата Экосил. Для приготовления рабочего раствора 40 мл эмульсии Гидрогумата растворяли в 10 л воды. Расход рабочей жидкости при поливе составлял 0,5 л/растение. Обработка опытных растений Наноплантом производилась, кроме обозначенных выше сроков, еще и в середине июня. Для приготовления рабочего раствора 30 капель препарата растворяли в 3 л воды. Расход рабочей жидкости при некорневой обработке составлял 120 мл/растение.

Поскольку при показателе pH 5,5 единиц и выше растения голубики высокорослой, как правило, испытывают недостаток азота из-за нарушения условий жизнедеятельности микоризы – гриба, сопровождающего симбиоз с ее корневой системой и снабжающего ее питательными веществами, то для устранения возможного дефицита данного элемента проводили периодическое подкисление субстрата под посадками данной культуры. В этих целях использовали коллоидную серу, которую равномерно распределяли вокруг опытных растений, внося ее в увлажненный торф в количестве 20 г/растение. В первый год обработку серой проводили в июне, спустя месяц после закладки эксперимента, во второй год – в мае, одновременно с применением минеральных и органических удобрений.

Исследование водно-физических, физико-химических и агрохимических свойств субстрата в полевых опытах проводили в начале и в конце вегетационного периода с использованием общепринятых методов, в том числе: обменной кислотности ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) – потенциометрически с помощью прибора pH-150МР по ГОСТ 11623-89 [7]; гидролитической кислотности ( $\text{Nr}$ ) – по методу Каппена [8]; суммы поглощенных оснований ( $S$ ) – по методу Каппена [9]; емкости поглощения ( $T$ ) и степени насыщенности основаниями ( $V$ ) – расчетным методом; нитратного азота – по ГОСТ 27894.4-88 [10]; аммиачного азота – по ГОСТ 27894.3-88 [11]; подвижных форм фосфора (в пересчете на  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) – фотоэлектроколориметрически по ГОСТ 27894.5-88 [12]; обменного калия (в пересчете на  $\text{K}_2\text{O}$ ) – методом пламенной фотометрии по ГОСТ 27894.6-88 [13].

Все аналитические определения выполнены в трехкратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Результаты двулетнего исследования на фоне испытываемых агроприемов изменения содержания основных элементов питания, обменной ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) и гидролитической ( $\text{Nr}$ ) кислотности, суммы поглощенных оснований ( $S$ ) и степени насыщенности основаниями ( $V$ ) поглащающего комплекса верхнего корнеобитаемого слоя торфяной залежи в начале и в конце вегетационного периода в полевом эксперименте с двулетними (на момент закладки эксперимента) виргинильными растениями голубики показали, что использование всех видов удобрений способствовало существенному обогащению субстрата доступными формами основных питательных элементов под посадками опытных растений. Как следует из табл. 1 и 2, уже в первый год проведения эксперимента во всех вариантах, включая контроль, к концу вегетационного периода в корнеобитаемом слое торфа произошло увеличение содержания легкогидролизуемого азота в аммонийной форме в 1,1–2,0 раза, в нитратной – в 1,5–5,6 раза, а также обменного калия в 1,1–2,1 раза на фоне снижения содержания в нем подвижного фосфора в 1,1–1,7 раза относительно исходного уровня. Это сопровождалось незначительным (преимущественно в 1,1–1,2 раза) повышением уровня гидролитической кислотности при одновременном снижении суммы поглощенных оснований в 1,1–1,8 раза, наиболее значительном под посадками сортов *Northcountry* и *Bluecrop*, а также степени насыщенности ими поглащающего комплекса субстрата в 1,1 раза. Поскольку изменение исследуемых характеристик агрохимического фона корнеобитаемой зоны за период вегетации наблюдалось и в контролльном варианте опыта, то логично предположить, что значительную роль в этом процессе, наряду с применением удобрений, играли корневые выделения опытных растений, способствовавшие в симбиозе с микоризой активизации деятельности микробиоты и тем самым заметной активизацией высвобождения питательных элементов из органического вещества торфа и переводу их в легкоусвояемые формы.

Вместе с тем, как показали результаты наших исследований [14], использование и минеральных, и органических удобрений способствовало усилинию развитию надземной сферы опытных растений, а следовательно, и увеличению объемов потребления ими питательных веществ. Однако несмотря на это кратные размеры позитивных изменений запасов доступных форм азота и калия к концу сезона на фоне испытываемых агроприемов были сопоставимы с контролем и в большинстве случаев даже превосходили их, что указывало не только на полное удовлетворение еще сравнительно невысоких потребностей виргинильных растений в данных элементах, но и на создание их определенных запасов. При этом независимо от генотипа растений голубики накопление первого элемента в субстрате протекало более активно в нитратной, нежели в аммонийной форме, что особенно выразительно проявилось у сорта *Northland* и свидетельствовало о предпочтительном усвоении последней в первый год проведения эксперимента. Как было показано выше, в отличие от усвояемых форм азота и калия, для подвижного фосфора, напротив, было отмечено истощение запасов к концу вегетационного периода. На наш взгляд, перевод прочно связанных фосфатов в доступные растениям формы в процессе минерализации органического вещества торфа отличался не столь высокой эффективностью, как у предыдущей пары элементов, и главным образом был ограничен удовлетворением еще незначительных физиологических потребностей молодых растений голубики в данном элементе без создания его запасов.

**Таблица 1. Агрохимические и физико-химические свойства корнеобитаемого слоя торфяного субстрата в вариантах полевого опыта в начале и в конце вегетационного периода под посадками виргинильных растений голубики высокорослой**

**Table 1. Agrochemical and physico-chemical properties of the root layer of the peat substrate in the variants of field experiment on plantation of virgin plants of highbush blueberry at the beginning and end of the growing season**

Вариант опыта	N-NH <sub>4</sub> ,	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH <sub>KCl</sub>	Hg	S	V, %							
	мг/кг сухого вещества							мг-экв./100 г торфа							
<b>2017 г.</b>															
<i>Май</i>															
Исходный	113,7 ± 4,7	125,6 ± 4,5	134,8 ± 6,9	93,4 ± 5,4	5,28	24,6	123,5	83,4							
<i>Сентябрь</i>															
Сорт Northcountry															
Контроль	231,6 ± 13,1	109,2 ± 7,5	98,6 ± 3,4	70,8 ± 2,1	5,67	22,5	70,3	75,8							
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	168,4 ± 5,8*	309,3 ± 12,8*	104,9 ± 10,0	86,7 ± 1,8*	5,69	27,3	88,2	76,3							
Наноплант	188,2 ± 4,7*	446,9 ± 13,4*	137,4 ± 12,0*	111,4 ± 0,6*	5,76	28,3	90,4	76,2							
Гидрогумат	162,6 ± 2,3*	361,9 ± 5,4*	120,1 ± 12,0*	146,4 ± 1,2*	5,77	28,3	98,2	77,6							
Экосил	171,9 ± 4,7*	360,7 ± 7,5*	89,5 ± 3,3*	107,2 ± 1,2*	5,81	27,3	94,9	77,6							
Сорт Bluecrop															
Контроль	126,5 ± 5,8	193,6 ± 7,4	106,4 ± 11,1	114,7 ± 3,3	5,66	24,4	75,9	75,7							
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	145,1 ± 5,8*	285,9 ± 16,8*	98,2 ± 5,0	124,7 ± 2,2*	5,67	30,3	85,9	74,0							
Наноплант	124,2 ± 3,5	317,4 ± 6,2*	79,4 ± 9,7*	118,7 ± 4,2	5,74	29,3	103,8	78,0							
Гидрогумат	166,1 ± 8,1*	329,0 ± 9,1*	115,5 ± 12,0	197,6 ± 9,0*	5,77	29,3	83,7	74,1							
Экосил	170,7 ± 5,8*	401,9 ± 9,3*	115,6 ± 9,5	181,6 ± 2,1*	5,77	30,3	85,9	74,0							
Сорт Northland															
Контроль	100,9 ± 3,5	618,1 ± 11,4	110,2 ± 6,8	120,5 ± 1,8	5,71	28,3	109,4	79,4							
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	121,8 ± 5,8*	708,0 ± 6,5*	101,8 ± 12,0	117,8 ± 1,5	5,63	37,1	115,0	75,6							
Наноплант	130,0 ± 4,7*	539,5 ± 1,2*	111,8 ± 12,0	108,1 ± 1,5*	5,64	18,6	119,4	86,6							
Гидрогумат	117,2 ± 1,2*	633,9 ± 4,4	95,9 ± 2,4*	117,8 ± 2,7	5,62	30,3	117,2	79,5							
Экосил	113,7 ± 2,0*	496,1 ± 5,1*	101,8 ± 10,2	129,5 ± 2,4*	5,63	29,3	113,8	79,5							
<b>2018 г.</b>															
<i>Май</i>															
Сорт Northcountry															
Контроль	156,8 ± 3,5	102,9 ± 17,0	109,5 ± 9,5	68,9 ± 4,3	5,46	59,3	51,1	36,4							
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	204,8 ± 5,8*	158,3 ± 18,2*	110,1 ± 9,3	106,7 ± 1,8*	5,34	63,2	73,3	53,7							
Наноплант	199,4 ± 9,8*	251,5 ± 31,4*	149,8 ± 13,6*	124,1 ± 3,3*	5,33	55,4	72,2	56,6							
Гидрогумат	202,4 ± 9,3*	230,5 ± 14,8*	131,7 ± 11,8*	134,8 ± 6,8*	5,40	62,2	67,8	52,1							
Экосил	200,7 ± 9,9*	260,7 ± 15,7*	108,4 ± 10,5	98,5 ± 6,6*	5,45	66,7	50,6	64,2							
Сорт Bluecrop															
Контроль	221,4 ± 3,5	89,7 ± 3,8	106,4 ± 3,1	114,7 ± 3,3	5,59	57,4	71,1	55,4							
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	204,6 ± 4,0*	164,7 ± 9,8*	103,5 ± 8,9	172,1 ± 10,5*	5,22	59,3	70,0	54,1							
Наноплант	202,7 ± 5,2*	104,8 ± 3,5*	88,5 ± 4,4*	168,5 ± 9,9*	5,34	61,3	63,3	50,8							
Гидрогумат	228,1 ± 6,2	109,4 ± 8,0*	96,9 ± 4,9*	216,8 ± 10,0*	5,37	46,7	57,8	55,3							
Экосил	240,3 ± 6,4*	98,3 ± 4,8*	101,9 ± 9,4	231,4 ± 21,0*	5,37	66,1	64,4	49,4							
Сорт Northland															
Контроль	129,4 ± 3,2	216,4 ± 5,6	107,9 ± 3,8	128,4 ± 8,0	5,50	85,5	60,2	41,3							
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	138,6 ± 3,5*	309,6 ± 6,6*	110,8 ± 10,5	168,4 ± 7,2*	5,36	63,6	68,2	51,7							
Наноплант	165,2 ± 10,3*	235,7 ± 3,6*	120,7 ± 3,9*	183,9 ± 14,8*	5,26	97,5	46,6	32,4							
Гидрогумат	177,3 ± 10,9*	239,4 ± 4,8*	109,6 ± 8,6	204,1 ± 18,4*	5,22	79,6	47,7	37,5							
Экосил	180,7 ± 12,5*	169,8 ± 6,6*	94,5 ± 2,8*	176,5 ± 15,5*	5,30	51,7	37,5	42,0							
<i>Сентябрь</i>															
Сорт Northcountry															
Контроль	302,8 ± 6,6	58,3 ± 2,5	116,9 ± 4,9	327,5 ± 6,2	5,35	42,1	104,0	71,2							
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	291,8 ± 8,5	45,1 ± 3,5*	98,6 ± 3,7*	254,4 ± 7,6*	5,27	37,8	103,0	73,2							
Наноплант	376,8 ± 9,1*	36,5 ± 2,4*	88,7 ± 7,8*	276,5 ± 11,9*	4,92	46,1	96,7	67,7							
Гидрогумат	380,1 ± 7,5*	33,9 ± 2,8*	91,5 ± 9,0*	315,3 ± 14,7	4,83	44,9	95,6	68,0							
Экосил	410,6 ± 14,5*	41,1 ± 3,8*	89,6 ± 6,1*	289,9 ± 6,0*	4,84	42,9	101,1	70,2							
Сорт Bluecrop															
Контроль	308,1 ± 2,2	57,3 ± 2,9	136,5 ± 9,0	387,3 ± 8,2	4,71	39,3	106,0	73,0							
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	336,0 ± 4,8*	44,2 ± 2,7*	70,3 ± 6,1*	253,6 ± 4,2*	4,65	49,3	87,2	63,9							
Наноплант	389,6 ± 3,5*	19,2 ± 3,3*	91,8 ± 7,8*	278,0 ± 4,5*	4,56	47,4	101,6	68,2							

Вариант опыта	N-NH <sub>4</sub> ,	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH <sub>KCl</sub>	Hg	S	V, %
Гидрогумат	433,8 ± 10,5*	27,1 ± 4,1*	74,4 ± 6,0*	386,4 ± 7,5	4,56	52,3	102,7	66,3
Экосил	471,0 ± 10,5*	16,5 ± 4,3*	94,8 ± 5,2*	345,7 ± 4,0*	4,45	50,3	103,8	67,4
Сорт Northland								
Контроль	297,6 ± 9,3	59,0 ± 2,9	97,3 ± 3,1	310,2 ± 4,8	4,85	43,5	102,7	70,2
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	247,6 ± 5,8*	45,9 ± 2,7*	123,3 ± 4,5*	267,1 ± 2,7*	4,92	42,6	89,4	67,7
Наноплант	362,8 ± 9,3*	33,7 ± 3,4*	82,7 ± 3,4*	235,5 ± 2,4*	4,86	48,4	117,0	70,7
Гидрогумат	338,3 ± 3,5*	40,6 ± 3,8*	111,8 ± 5,1*	284,6 ± 3,9*	4,73	45,5	106,0	70,0
Экосил	350,0 ± 8,1*	45,6 ± 3,3*	78,1 ± 6,3*	253,9 ± 7,5*	4,82	50,0	99,3	66,5

\* Статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия с контролем при *p* < 0,05.

**Таблица 2. Кратный размер изменения агрохимических и физико-химических характеристик корнеобитаемого слоя торфяного субстрата в вариантах полевого опыта к концу вегетационного периода под посадками виргинильных растений голубики высокорослой**

**Table 2. Multiple size of changes in agrochemical and physical-chemical characteristics of the root layer of the peat substrate on plantation of virgin highbush blueberry plants in the field experiment variants by the end of the growing season**

Вариант опыта	N-NH <sub>4</sub> ,	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH <sub>KCl</sub>	Hg	S	V, %									
	мг/кг сухого вещества																
<b>2017 г.</b>																	
Сорт Northcountry																	
Контроль	>2,0	<1,2	<1,4	<1,3	>1,1	<1,1	<1,8	<1,1									
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	>1,5	>2,5	<1,3	<1,1	>1,1	>1,1	<1,4	<1,1									
Наноплант	>1,7	>3,6	–	>1,2	>1,1	>1,2	<1,4	<1,1									
Гидрогумат	>1,4	>2,9	<1,1	>1,6	>1,1	>1,2	<1,3	<1,1									
Экосил	>1,5	>2,9	<1,5	>1,1	>1,1	>1,1	<1,3	<1,1									
Сорт Bluecrop																	
Контроль	>1,1	>1,5	<1,3	>1,2	>1,1	–	<1,6	<1,1									
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	>1,3	>2,3	<1,4	>1,3	>1,1	>1,2	<1,4	<1,1									
Наноплант	>1,1	>2,5	<1,7	>1,3	>1,1	>1,2	<1,2	<1,1									
Гидрогумат	>1,5	>2,6	<1,2	>2,1	>1,1	>1,2	<1,5	<1,1									
Экосил	>1,5	>3,2	<1,2	>1,9	>1,1	>1,2	<1,4	<1,1									
Сорт Northland																	
Контроль	<1,1	>4,9	<1,2	>1,3	>1,1	>1,2	<1,1	<1,1									
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	>1,1	>5,6	<1,3	>1,3	>1,1	>1,5	<1,1	<1,1									
Наноплант	>1,1	>4,3	<1,2	>1,2	>1,1	<1,3	–	<1,1									
Гидрогумат	–	>5,0	<1,4	>1,3	>1,1	>1,2	<1,1	<1,1									
Экосил	–	>4,0	<1,3	>1,4	>1,1	>1,2	<1,1	<1,1									
<b>2018 г.</b>																	
Сорт Northcountry																	
Контроль	>1,9	<1,8	–	>4,8	–	<1,4	>2,0	>2,0									
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	>1,4	<3,5	<1,1	>2,4	–	<1,7	>1,4	>1,4									
Наноплант	>1,9	<6,9	<1,7	>2,2	>1,1	<1,2	>1,3	>1,2									
Гидрогумат	>1,9	<6,8	<1,4	>2,3	>1,1	<1,4	>1,4	>1,3									
Экосил	>2,0	<6,3	<1,2	>2,9	>1,1	<1,6	>2,0	>1,1									
Сорт Bluecrop																	
Контроль	>1,4	<1,6	>1,3	>3,4	<1,2	<1,5	>1,5	>1,3									
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	>1,6	<3,7	<1,5	>1,5	<1,1	<1,2	>1,2	>1,2									
Наноплант	>1,9	<5,5	–	>1,7	<1,2	<1,3	>1,6	>1,3									
Гидрогумат	>1,9	<4,0	<1,3	>1,8	<1,2	>1,1	>1,8	>1,2									
Экосил	>2,0	<6,0	<1,1	>1,5	<1,2	<1,3	>1,6	>1,4									
Сорт Northland																	
Контроль	>2,3	<3,7	<1,1	>2,4	<1,1	<2,0	>1,7	>1,7									
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	>1,8	<6,7	–	>1,6	<1,1	<1,5	>1,3	>1,3									
Наноплант	>2,2	<7,0	<1,5	>1,3	<1,1	<2,0	>2,5	>2,2									
Гидрогумат	>1,9	<5,9	–	>1,4	<1,1	<1,8	>2,2	>1,9									
Экосил	>1,9	<3,7	<1,2	>1,4	<1,1	–	>2,6	>1,6									

Примечание. Прочерк (–) означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента изменений при *p* < 0,05.

На втором году проведения эксперимента в основном подтвердились выявленные годом ранее позитивные тенденции в сезонных изменениях содержания аммонийного азота и обменного калия в корнеобитаемом слое субстрата при наиболее выразительном их проявлении у второго элемента в контрольном варианте опыта, а также негативные изменения в содержании доступного фосфора (см. табл. 2). Вместе с тем, в отличие от предыдущего сезона, для нитратной формы азота было показано не увеличение, а истощение запасов к концу вегетационного периода в 1,6–7,0 раза, наиболее существенное на фоне испытываемых агроприемов. Наряду с этим к окончанию второго сезона в субстрате всех вариантов опыта под посадками модельных сортов голубики наблюдалось увеличение суммы поглощенных оснований в 1,2–2,6 раза и степени насыщенности ими поглощающего комплекса в 1,1–2,2 раза, наиболее значительное под растениями сорта *Northland*, особенно при использовании Нанопланта и органических удобрений. Очевидно, корневые выделения виргинильных растений вкупе с микробиотой корнеобитаемого слоя торфа в определенной мере способствовали также его обогащению высвобожденными из связанного состояния катионами обменных оснований – кальция и магния. На это указывало также снижение к концу сезона гидролитической кислотности субстрата в 1,2–2,0 раза.

Вместе с тем на фоне общности в годы исследований доминирующих тенденций в изменении агрохимических характеристик торфяного субстрата под модельными сортами голубики при использовании удобрений отчетливо проявились генотипические и межвариантные различия в содержании в нем основных элементов питания, о степени которых можно судить по данным табл. 3. Из нее следует, что испытываемые агроприемы, вплоть до окончания первого вегетационного сезона, способствовали существенному увеличению в корнеобитаемом слое субстрата запасов доступных форм азота и калия по сравнению с контролем, наиболее значительному под сортом *Northcountry*, под которым превышение контрольного уровня содержания нитратного азота достигало 183–309 %, обменного калия – 23–107 % при наибольших различиях в вариантах с применением Нанопланта и органических удобрений. При этом для аммонийного азота было показано истощение запасов в субстрате относительно контроля на 19–30 %, тогда как под сортами *Bluecrop* и *Northland* – напротив, их пополнение на 13–35 %, сопровождавшееся в первом случае усилением накопления также нитратного азота на 48–108 %. Под растениями второго сорта более высокое содержание последнего установлено лишь при внесении минерального удобрения, тогда как при использовании Нанопланта и Экосила оно уступало контролю на 13–20 %. Наряду с этим под данными сортами голубики намного слабее, чем под сортом *Northcountry*, проявились различия с контролем и по содержанию в субстрате обменного калия. Что касается подвижного фосфора, то для параметров его накопления в конце первого сезона особо значимых различий с контролем в большинстве вариантов опыта выявлено не было, за исключением вариантов с применением Нанопланта и Гидрогумата, в которых под растениями сорта *Northcountry* установлено превышение контрольного уровня на 22–39 % и, напротив, отставание от него на 13–25 % у сортов *Bluecrop* и *Northland*.

Как следует из табл. 1, к началу второго вегетационного сезона под посадками модельных сортов голубики произошло заметное снижение содержания нитратного азота в корнеобитаемом слое субстрата, обусловленное интенсивным вымыванием за его пределы этой чрезвычайно подвижной формы элемента, сопряженное с заметным пополнением запасов его аммонийной формы и обменного калия преимущественно в вариантах опыта с использованием Гидрогумата и Экосила. Скорее всего, это было связано с пролонгированным влиянием корневых выделений и почвенных микроорганизмов на органическое вещество торфа в мягких условиях осенне-зимнего периода. При этом на фоне испытываемых агроприемов под посадками опытных растений в основных чертах проявились выявленные в конце предыдущего сезона расхождения с контролем в содержании в торфе питательных элементов. Вместе с тем, в отличие от предыдущего, к концу второго вегетационного сезона во всех вариантах опыта с применением удобрений наблюдалось отставание от контроля содержания в субстрате основных элементов питания, особенно нитратного азота, на 8–71 %, что было обусловлено более активным формированием текущего прироста надземной сферы опытных растений с увеличением их возраста и связанным с этим более интенсивным потреблением питательных веществ. Это согласуется с результатами наших исследований по формированию текущего прироста надземной сферы культиваров на фоне испытываемых агроприемов [14]. Наиболее значительное снижение в субстрате содержания обменного калия относительно контроля в основном отмечено при внесении полного минерального удобрения, наименьшее же, вплоть до отсутствия достоверных изменений – при внесении Гидрогумата. Максимальное обеднение торфа нитратным азотом и подвижным фосфором имело место при использовании Нанопланта и органических удобрений, способствовавшем также пополнению запасов аммонийного азота на 14–53 %. Заметим, что отмеченные изменения агрохимического фона в данном сезоне наиболее выразительно проявились под посадками растений сорта *Bluecrop*.

**Таблица 3. Относительные различия с контролем содержания доступных форм основных элементов питания в корнеобитаемом слое торфяного субстрата под посадками виргинильных растений голубики высокорослой в вариантах полевого опыта с использованием удобрений, %**

**Table 3. Relative differences with the control of the content of accessible forms of the main nutrients in the root-inhabited layer of the peat substrate under the plantings of virginal plants of highbush blueberry in the field experiments using fertilizers, %**

Вариант опыта	N-NH <sub>4</sub> ,	N-NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>2017 г.</b>				
<b>Сентябрь</b>				
<i>Сорт Northcountry</i>				
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	-27,3	+183,2	-	+22,5
Наноплант	-18,7	+309,2	+39,4	+57,3
Гидрограммат	-29,8	+231,4	+21,8	+106,8
Экосил	-25,8	+230,3	-9,2	+51,4
<i>Сорт Bluecrop</i>				
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	+14,7	+47,7	-	+8,7
Наноплант	-	+63,9	-25,4	-
Гидрограммат	+31,3	+69,9	-	+72,3
Экосил	+34,9	+107,6	-	+58,3
<i>Сорт Northland</i>				
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	+20,7	+14,5	-	-
Наноплант	+28,8	-12,7	-	-10,3
Гидрограммат	+16,2	-	-13,0	-
Экосил	+12,7	-19,7	-	+7,5
<b>2018 г.</b>				
<b>Май</b>				
<i>Сорт Northcountry</i>				
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	+30,6	+53,8	-	+54,9
Наноплант	+27,2	+144,4	+36,8	+80,1
Гидрограммат	+29,1	+124,0	+20,3	+95,6
Экосил	+28,0	+153,4	-	+43,0
<i>Сорт Bluecrop</i>				
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	-7,6	+83,6	-	+50,0
Наноплант	-8,4	+16,8	-16,8	+46,9
Гидрограммат	-	+22,0	-8,9	+89,0
Экосил	+8,5	+9,6	-	+101,7
<i>Сорт Northland</i>				
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	+7,1	+43,1	-	+31,2
Наноплант	+27,7	+8,9	+11,9	+43,2
Гидрограммат	+37,0	+10,6	-	+59,0
Экосил	+39,6	-21,5	-12,4	+37,5
<b>Сентябрь</b>				
<i>Сорт Northcountry</i>				
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	-	-22,6	-15,7	-22,3
Наноплант	+24,4	-37,4	-24,1	-15,6
Гидрограммат	+25,5	-41,9	-21,7	-
Экосил	+35,6	-29,5	-23,4	-11,5
<i>Сорт Bluecrop</i>				
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	+9,1	-22,9	-48,5	-34,5
Наноплант	+26,5	-66,5	-32,7	-28,2
Гидрограммат	+40,8	-52,7	-45,5	-
Экосил	+52,9	-71,2	-30,6	-10,7
<i>Сорт Northland</i>				
N <sub>16</sub> P <sub>16</sub> K <sub>16</sub>	-16,8	-22,2	+26,7	-13,9
Наноплант	+21,9	-42,9	-15,0	-24,1
Гидрограммат	+13,7	-31,2	+14,9	-8,3
Экосил	+17,6	-22,7	-19,7	-18,2

**Примечание.** Прочерк (-) означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с контролем при  $p < 0,05$ .

Вместе с тем нельзя забывать, что испытываемые виды удобрений обладали разными механизмами действия на агрохимические свойства субстрата. Так, если внесение минерального удобрения обеспечивало непосредственное пополнение в нем запасов основных питательных элементов, то достижение подобного эффекта при использовании обоих видов органических удобрений, содержащих комплексы биологически активных веществ, как и при некорневых обработках микроудобрением Наноплант, имело опосредованный характер и, на наш взгляд, было обусловлено активизацией метаболизма самих культиваров и усилением воздействия на органическое вещество торфа их корневых выделений. Последние вместе с микоризой и микробиотой зоны ризогенеза могли способствовать интенсификации процесса переработки органических соединений с высвобождением элементов из прочно связанного состояния и переводу их в доступные растениям формы. Несмотря на различия в механизмах действия испытываемых видов удобрений, обращает на себя внимание сходный характер выявленных тенденций в изменении агрохимических свойств субстрата на фоне их применения. При этом наиболее значительное обеднение субстрата питательными элементами к концу второго сезона относительно контроля выявлено в вариантах опыта с использованием Нанопланта и органических удобрений. Это позволяет предположить в них более активное, чем при внесении минерально-го удобрения, расходование элементов на формирование текущего прироста надземных органов виргинильных растений голубики. В пользу этого предположения свидетельствуют также приведенные в работе [14] данные о наиболее значительном увеличении размерных и биометрических параметров надземных органов двулетних растений голубики уже на первом году исследований у сорта *North-country* при использовании Гидрогумата и Экосила, у сорта *Croaton* – Нанопланта, у сорта *Northland* – Экосила. Несмотря на незначительные размеры текущего прироста у молодых виргинильных растений голубики, высокая отзывчивость данных сортов на применение новых видов экологичных удобрений служит хорошим подтверждением целесообразности их применения при выращивании голубики на рекультивируемых торфяниках низинного типа.

**Заключение.** В результате двухлетнего сравнительного исследования в опытной культуре на рекультивируемом участке низинного торфа в центральной агроклиматической зоне республики влияния полного минерального ( $N_{16}P_{16}K_{16}$ ) удобрения («Растворин» марки «Б»), а также созданных в учреждениях НАН Беларуси новых экологичных препаратов – микроудобрения Наноплант-8, включающего восемь микроэлементов – *Co, Mn, Cu, Fe, Zn, Cr, Mo, Se*, и органических удобрений Экосил и Гидрогумат на физико-химические и агрохимические свойства остаточного слоя торфяной залежи под посадками двулетних виргинильных растений трех модельных сортов голубики высокорослой (*V. corymbosum L.*) – *Northcountry*, *Bluecrop* и *Northland* установлено следующее.

В оба года наблюдений во всех вариантах опыта на протяжении вегетационного периода в корнеобитаемом слое субстрата установлено увеличение относительно исходного уровня содержания легкогидролизуемого азота и обменного калия на фоне снижения содержания подвижного фосфора, сопровождавшееся в первом сезоне незначительным повышением уровня гидролитической кислотности при одновременном снижении суммы поглощенных оснований на фоне противоположных изменений данных показателей во втором сезоне. Использование всех видов удобрений оказывало существенное влияние на агрохимические свойства торфяного субстрата. В первый год их применения к концу сезона установлено значительное его обогащение относительно контроля преимущественно нитратной формой азота и обменным калием при отсутствии заметных изменений в содержании подвижного фосфора, тогда как на втором году их применения наблюдалось пополнение запасов аммонийного азота при преимущественном истощении запасов нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия при наибольшем проявлении данных эффектов на фоне использования Нанопланта и органических удобрений, обеспечивающих наиболее интенсивное их расходование на формирование надземной сферы опытных растений.

#### Список использованных источников

1. Рупасова, Ж. А. Фиторекультивация выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений севера Беларуси на основе возделывания ягодных растений сем. *Ericaceae* / Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев ; под общ. ред. акад. В. Н. Решетникова. – Минск : Беларуская наука, 2011. – 282 с.
2. Шабанов, А. А. Биоорганические препараты Гидрогумат и Экосил – полезные компоненты в органическом земледелии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecosil.by/a27989-ekologicheskoe-zemledelie-rostorgregulyatory.html>. – Дата доступа: 05.06.2020.
3. Повышение качества растениеводческой продукции под воздействием экологобезопасных биологически активных препаратов из природного сырья / Наумова Г. В. [и др.] // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы : сб. науч. тр. ; Нац. акад. наук Беларуси, Минсельхозпрод Респ. Беларусь, УО «ГрГАУ». – Гродно : ГГАУ, 2003. – Т. 2. – С. 12–18.

4. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки // А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларуская навука, 2009. – 328 с.
5. Азизбекян, С. Г. Наноплант – новое отечественное микроудобрение / С. Г. Азизбекян // Наше хозяйство. – 2015. – № 7–8. – С. 2–3.
6. Эффективность применения микроудобрений «Наноплант – Co, Mn, Cu, Fe, Zn, Cr, Mo, Se» и «Наноплант – Ag» на голубике высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) / О. В. Дрозд [и др.] // Опыт и перспективы возделывания ягодных растений семейства Брусничные на территории Беларуси и сопредельных стран : материалы Междунар. науч.-практ. семинара. – Минск, 2017. – С. 50–57.
7. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения обменной и активной кислотности: ГОСТ 11623–89. – Введ. 01.01.90. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 6 с.
8. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО : ГОСТ 26212-91. – Введ. 01.07.93. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 7 с.
9. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена : ГОСТ 27821-88. – Введ. 01.01.90. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 7 с.
10. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения нитратного азота : ГОСТ 27894.4-89. – Введ. 01.01.90. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 13 с.
11. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения аммиачного азота : ГОСТ 27894.3-89. – Введ. 01.01.90. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 11 с.
12. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм фосфора : ГОСТ 27894.5-88. – Введ. 01.01.90. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 8 с.
13. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм калия : ГОСТ 27894.6-88. – Введ. 01.01.90. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 5 с.
14. Влияние удобрений и стимуляторов роста на развитие надземной сферы виргинильных растений голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) на выработанном торфянике низинного типа / Ж. А. Рупасова [и др.] // Плодоводство : сб. науч. тр. / Институт плодоводства. – Самохваловичи, 2018. – Т. 30. – С. 186–196.

### References

1. Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P. *Fitorekultivaciya vybyvshih iz promyshlennoj ekspluatacii torfyanyh mestozhdenij severa Belarusi na osnove vozdelyvaniya yagodnyh rastenij sem. Ericaceae* [Phytorecultivation of peat deposits that have been left out of commercial use on the basis of cultivation of berry plants of the fam. *Ericaceae* in the conditions of the North of Belarus]. Minsk, 2011, 282 p. (in Russian)
2. Shabanov A. A. *Bioorganicheskie preparaty Gidrugumat i Ecosil – poleznye komponenty v organicheskem zemledelii* [Bioorganic preparations Gidrogumat and Ecosil – useful components of organic farming]. Available at: <https://ecosil.by/a27989-ekologicheskoe-zemledelie-rostoregulyatory.html> (accessed 05 June 2020). (in Russian)
3. Naumova G. V., e. a. *Povyshenie kachestva rastenievodcheskoi produkci pod vozdeistviem ekologobezopasnykh biologicheskikh aktivnykh preparatov iz prirodnogo syria* [Improving the quality of crop production under the influence of environmentally friendly biologically active preparations from natural raw materials]. Sel'skoe khozyaistvo – problem i perspektivi : sb. nauch. tr. NAN Belarusi [Proc. of the NAS of Belarus 'Agriculture – problems and prospects'], 2003, no. 2, pp. 12–18. (in Russian)
4. Tomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and its products]. Minsk, 2009, 328 p. (in Russian)
5. Azizbekyan S. G. *Nanoplant – novoe otechestvennoe mikroudobrenie* [Nanoplant – a new domestic microfertilizer]. Nashe khozyaistvo = Our farm, 2015, no. 7–8, pp. 2–3. (in Russian)
6. Drozd O. V., e. a. *Effektivnost' primeneniya mikroudobrenii «Nanoplant – Co, Mn, Cu, Fe, Zn, Cr, Mo, Se» i «Nanoplant – Ag» na golubike vysokorosloj (Vaccinium corymbosum L.)* [The effectiveness of the use of microfertilizers 'Nanoplant – Co, Mn, Cu, Fe, Zn, Cr, Mo, Se' and 'Nanoplant – Ag' on highbush blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.)]. Materialy Mezhdunar. nauch.-praktich. seminara «Opyt i perspektivy vozdelyvaniya yagodnykh rastenii semeistva Brusnichnye na territorii Belarusi i sopredel'nykh stran» [Proc. Int. Sci. and Prac. Seminar 'Experience and prospects of Cowberry family berries in Belarus and neighboring countries']. Minsk, 2017, pp. 50–57. (in Russian)
7. GOST 11623–89. *Torf i produkty ego pererabotki dlya sel'skogo khozyaistva. Metody opredeleniya obmennoi i aktivnoi kislotnosti* [State Standard 11623–89. Peat and products of its processing for agriculture. Methods for determining the exchange and active acidity]. Moscow, Standartinform Publ., 1990, 6 p. (in Russian)
8. GOST 26212-91. *Pochvy. Opredelenie gidroliticheskoi kislotnosti po metodu Kappena v modifikatsii TSINAO* [State Standard 26212-91. The soil. Determination of hydrolytic acidity by the Kappen method in the modification of TsINAo]. Moscow, Standartinform Publ., 1992, 7 p. (in Russian)
9. GOST 27821-88. *Pochvy. Opredelenie summy pogloshchennykh osnovanii po metodu Kappena* [State Standard 27821-88. The soil. Determination of the amount of absorbed bases by the Kappen method]. Moscow, Standartinform Publ., 1992, 7 p. (in Russian)
10. GOST 27894.4-89. *Torf i produkty ego pererabotki dlya sel'skogo khozyaistva. Metody opredeleniya nitratnogo azota* [State Standard 27894.4-89. Peat and products of its processing for agriculture. Methods for the determination of nitrate nitrogen]. Moscow, Standartinform Publ., 1989, 13 p. (in Russian)

11. GOST 27894.3-89. *Torf i produkty ego pererabotki dlya sel'skogo khozyaistva. Metody opredeleniya ammiachnogo azota* [State Standard 27894.3-89. Peat and products of its processing for agriculture. Methods for the determination of ammonia nitrogen]. Moscow, Standartinform Publ., 1989, 11 p. (in Russian)
12. GOST 27894.5-88. *Torf i produkty ego pererabotki dlya sel'skogo khozyaistva. Metody opredeleniya podvizhnykh form fosfora* [State Standard 27894.5-88. Peat and products of its processing for agriculture. Methods for the determination of mobile forms of phosphorus]. Moscow, Standartinform Publ., 1989, 8 p. (in Russian)
13. GOST 27894.6-88. *Torf i produkty ego pererabotki dlya sel'skogo khozyaistva. Metody opredeleniya podvizhnykh form kaliya* [State Standard 27894.6-88. Peat and products of its processing for agriculture. Methods for the determination of mobile forms of potassium]. Moscow, Standartinform Publ., 1988, 5 p. (in Russian)
14. Rupasova Zh. A., e. a. *Vliyanie udobrenii i stimulatorov rosta na razvitiye nadzemnoi sfery virginil'nykh rastenii golubiki vysokorosloi (Vaccinium corymbosum L.) na vyrabotannom torfyanike nizinnogo tipa* [Influence of fertilizers and growth stimulators on the development of the overground sphere of virgin plants of highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) on the opencast peatland of the lowland type]. Plodovodstvo : sbornik nauchnykh trudov [Proc. 'Fruitgrowing'], 2018, no. 30, pp. 186–196. (in Russian)

### Информация об авторах

**Рупасова Жанна Александровна** – член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией химии растений, Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

**Яковлев Александр Паевович** – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией экологической физиологии растений, Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

**Белый Павел Николаевич** – кандидат биологических наук, научный секретарь, Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: p.bely@cbg.org.by

**Жданец Светлана Федосовна** – ведущий инженер, Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

**Козырь Ольга Семеновна** – ведущий инженер, Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

**Лиштван Иван Иванович** – академик, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

### Information about the authors

**Zhanna A. Rupasova** – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Biology), Professor, Head Lab plant chemistry, Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

**Alexandr P. Yakovlev** – Ph. D. (Biology), Assistant Professor, Head Lab environmental physiology of plants, Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

**Pavel N. Bely** – Ph. D. (Biology), Scientific Secretary, Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: p.bely@cbg.org.by

**Svetlana F. Zhdanets** – Lead Engineer, Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

**Oльга С. Козырь** – Lead Engineer, Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

**Ivan I. Lishtvan** – Academician, D. Cs. (Technical), Professor, Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2020-2-125-131>

УДК 636.087+662.641.2

Поступила в редакцию 15.10.2020

Received 15.10.2020

## ЭНТЕРОСОРБЦИОННАЯ ФЕРРОЦИНСОДЕРЖАЩАЯ КОРМОВАЯ ДОБАВКА НА ОСНОВЕ ТОРФА

А. Э. Томсон<sup>1</sup>, Т. В. Соколова<sup>1</sup>, Н. Е. Сосновская<sup>1</sup>, Ю. Ю. Навоша<sup>1</sup>, Т. Я. Царюк<sup>1</sup>,  
В. С. Пехтерева<sup>1</sup>, И. П. Фалюшина<sup>1</sup>, А. А. Царенок<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Институт радиобиологии НАН Беларусь, Гомель, Беларусь

**Аннотация.** Разработана энтеросорбционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа. Обоснован выбор торфа в качестве основы для получения энтеросорбционной кормовой добавки. Проведена модификация сфагнового торфа гексацианоферратами металлов. Изучены сорбционные и спектральные свойства синтезированных сорбентов по отношению к иону цезия. Обоснован выбор композита, включающий сфагновый торф и гексацианоферрат железа (ферроцин) в качестве энтеросорбционной кормовой добавки с радиопротекторными свойствами. Предварительные испытания радиологической эффективности кормовой добавки в рационе бычков показал кратность снижения содержания <sup>137</sup>Cs в мясной продукции примерно в 6 раз по сравнению с контролем.

**Ключевые слова:** кормовая добавка; энтеросорбент; сфагновый торф; гексацианоферраты металлов; ферроцин; ферроцинсодержащий сорбент.

**Для цитирования.** Томсон А. Э., Соколова Т. В., Сосновская Н. Е., Навоша Ю. Ю., Царюк Т. Я., Пехтерева В. С., Фалюшина И. П., Царенок А. А. Энтеросорбционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 125–131.

## ENTEROSORPTION FERROCIN-CONTAINING FEED ADDITIVE BASED ON PEAT

А. Е. Tomson<sup>1</sup>, Т. В. Sokolova<sup>1</sup>, Н. Е. Sosnovskaya<sup>1</sup>, Yu. Yu. Navosha<sup>1</sup>, Т. Ya. Tsariuk<sup>1</sup>,  
V. S. Pekhtereva<sup>1</sup>, I. P. Faliushina<sup>1</sup>, A. A. Tsarenok<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

<sup>2</sup>Institute of Radiobiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Belarus

**Abstract.** An enterosorption ferrocin-containing feed additive based on peat has been developed. The choice of peat as the basis for obtaining an enterosorption feed additive is has been substantiated. Modification of sphagnum peat with metal hexacyanoferrates was carried out. The sorption and spectral properties of the synthesized sorbents with relation to the Cs ion have been studied. The choice of a composite including sphagnum peat and iron hexacyanoferrate (ferrocin) as an enterosorption feed additive with radioprotective properties is justified. Preliminary tests of the radiological efficacy of the feed additive in the diet of gobies showed a multiplicity of decrease in the <sup>137</sup>Cs content in meat products by about 6 times compared with the control.

**Keywords:** feed additive; enterosorbent; sphagnum peat; metal hexacyanoferrates; ferrocin; ferrocin-containing sorbent.

**For citation.** Tomson A. E., Sokolova T. V., Sosnovskaya N. E., Navosha Yu. Yu., Tsariuk T. Ya., Pekhtereva V. S., Faliushina I. P., Tsarenok A. A. Enterosorption ferrocin-containing feed additive based on peat. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 125–131.

**Введение.** Работами сотрудников Института природопользования НАН Беларуси и других исследователей [1] показана способность торфа сорбировать ионы тяжелых металлов, органические и газообразные вещества, обусловленная его химической природой. Торф состоит из разнообразных химических соединений органической и неорганической природы. В него входят гидрофильные составляющие, т. е. вещества, взаимодействующие с водой (целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин, гуминовые вещества), а также гидрофобные составляющие, представленные восками, парафинами, смолами. Из многообразия химических компонентов торфа для сорбционного взаимодействия имеют значение гуминовые кислоты и фульвокислоты, легкогидролизуемые вещества (уроновые кислоты)

и в некоторой степени лигнин. Гуминовые вещества торфа, включающие гуминовые кислоты и фульвокислоты, – полифункциональные соединения. Они содержат различные функциональные группы, подразделяющиеся на карбоксильные, гидроксильные (фенольные, спиртовые), фенольные (гидрохинонны и пироновые), карбонильные (хинонны, кетонные), а также метаксильные аминогруппы.

Носителями ионообменных свойств гуминовых кислот являются карбоксильные и гидроксильные группы, водород которых при благоприятных условиях способен замещаться другими катионами. Содержание кислых функциональных групп в препаратах фульвокислот колеблется для карбоксильных групп от 2,0 до 5,6 мг-экв/г вещества, фенольных гидроксилов – от 4,8 до 7,5 мг-экв/г вещества, в гуминовых кислотах содержание карбоксильных и фенольных групп находится в пределах от 6,3 до 9,8 мг-экв/г.

Группы легкогидролизуемых веществ торфа представлены главным образом соединениями углеводного характера. В легкогидролизуемых соединениях торфа верхового типа установлено [2] наличие в углеводном комплексе пентоз, гексоз и смеси двух уроновых кислот. В составе легкогидролизуемых веществ преобладает ксилоза. Кроме карбонильной и гидроксильной групп в состав моносахаридов может входить карбоксильная группа (уроновые кислоты) или аминогруппа (аминосахара). Исходя из сказанного, можно полагать, что легкогидролизуемые вещества торфа способны к реакциям ионного обмена из-за присутствия в них карбоксильных и аминогрупп.

В сорбционных процессах могут участвовать также активные группы лигнина. В лигнине имеются метаксильные группы, кислые гидроксильные группы, карбонильные и карбоксильные группы.

Таким образом, сорбционными центрами в торфе являются активные функциональные группы гуминовых и фульвокислот, углеводного комплекса и лигнина.

Органическое вещество малоразложившегося сфагнового торфа в значительной степени представлено компонентами углеводного комплекса, в которых активные функциональные группы способны придать материалу сорбционные свойства. Как было показано ранее [2], использование сфагнового торфа в качестве основного компонента при производстве кормовой добавки в рацион поросят-отъемышей обеспечит не только ее питательную ценность, но и способность сорбировать ионы тяжелых металлов, патогенные микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, микотоксины.

Сфагновый торф широко распространен на торфяных месторождениях Беларуси, особенно в ее северном регионе [3]. Месторождения сфагнового торфа, залегающие в различных регионах, интенсивно разрабатываются для производства грунтов, в этой связи рассмотрение вопроса о его доступности как сырья для указанных целей не вызывает сомнения. Наибольший интерес как сырье для разрабатываемых кормовых добавок представляет верховой малоразложившийся торф сфагновой группы. Особенность его морфологической структуры – высокая сохранность неразложившейся растительной ткани сфагновых (белых) мхов, представленной не только форменными остатками (листья, стебли, ветви), но и почти полностью сохранившимися растениями, содержащими гиалиновые водоносные клетки сфагнума. Это придает ему своеобразные физические свойства: высокую влагопоглощающую и сорбционную способность, что позволяет рассматривать его в качестве сорбента тяжелых металлов, щелочей и таких газообразных продуктов жизнедеятельности, как аммиак и др. В сравнении с другими видами торфа он проявляет выраженные антисептические и биоцидные свойства, а также обогащен йодом, флаваноидами, каратиноидами и витаминами.

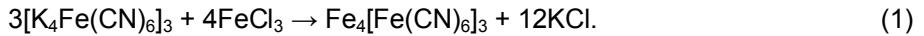
Так как в результате аварии на Чернобыльской АЭС значительные территории оказались зараженными радионуклидами, в том числе долгоживущими изотопами  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , актуальным стало получение на этих территориях чистой продукции животноводства. Эта проблема может быть решена путем применения энтеросорбционного метода, основанного на связывании и выведении из желудочно-тракта радионуклидов. Для этой цели хорошо зарекомендовали ферроцианиды – комплексообразующие соединения избирательного действия, а также композиционные препараты, включающие сорбенты и комплексообразователи. Ранее нами разработан углеродный ферроцинсодержащий сорбент на основе торфяного активированного угля и ферроцина, изучены физико-технические, энтеросорбционные и спектральные свойства материала. Результаты физиологического опыта показали, что добавление 4 г/гол. в сутки модифицированного углеродного сорбента в рацион кормления кроликов снижает накопление  $^{137}\text{Cs}$  в мясе в 8 раз по сравнению с контролем [4].

Учитывая отсутствие торфяного активированного угля в настоящее время и предполагаемую его высокую стоимость, целью настоящей работы явилось получение активного энтеросорбционного материала с использованием в качестве основы для модификации торфа, как более дешевого и доступного материала, обладающего рядом ценных свойств, и гексацианоферратов металлов.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования явились сфагновый торф и гексацианоферраты металлов. Сфагновый торф – основу в композиции компонентов – отбирали из штабелей на полях добычи месторождения «Радемье» ОАО «Зеленоборское» Смолевичского района Минской области. В основе синтеза гексацианоферратов металлов лежат реакции взаимодействия

гексацианоферрата калия (желтой кровянной соли – ЖКС) и солей тяжелых металлов: хлорного железа, сернокислой меди, хлористого цинка, железоаммонийных квасцов  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ .

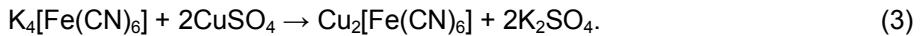
Реакции протекают по уравнениям.



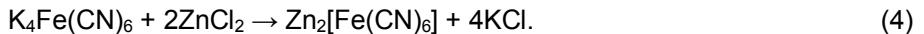
В результате образуется гексацианоферрат железа  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  – ферроцин.



Образуется смешанный калиевомедный гексацианоферрат  $\text{K}_2\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$ .



Образуется гексацианоферрат меди  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .



Образуется гексацианоферрат цинка  $\text{Zn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .



Образуется аммонийжелезогексацианоферрат  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ .



Образуется смешанный калиевожелезный феррат, или гексацианоферрат калияжелеза (лазурь железная «милори»)  $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .

Принимая во внимание опыт получения кормовой добавки с энтеросорбционными свойствами на основе активированного угля и гексацианоферрата железа (ферроцина), количество вводимых в композиты гексацианоферратов металлов составляло 5 % на абсолютно сухую навеску.

### *Сфагновый торф + ферроцин*

К навеске сфагнового торфа, предварительно смоченной дистиллированной водой, при постоянном перемешивании добавляли рассчитанное количество растворов определенной концентрации ЖКС и хлорного железа. В результате взаимодействия по реакции (1) образуется ферроцин в виде объемного студенистого осадка, который адсорбируется на поверхности торфа. Полученную композиционную суспензию центрифугировали и осадок отмывали дистиллированной водой от избытка хлорного железа (проба с 3%-м раствором гексацианоферрата калия) и ионов хлора (проба с 1%-м раствором нитрата серебра). Осадок сушили. По приведенной выше схеме получали композиты, содержащие торф, смешанный калиевомедный феррат (2), гексацианоферрат меди (3), гексацианоферрат цинка (4), аммонийжелезоцианоферрат (5) и смешанный калиевожелезный феррат (6).

Оценку радиопротекторных свойств синтезированных композитов проводили по их способности сорбировать ионы цезия из 0,001 н. раствора нитрата цезия ( $C_{\text{Cs}}^+ = 0,133 \text{ г/л}$ ).

К навеске композиционного сорбента (1,000 г а. с. в.) приливали 50 мл 0,001 н. раствора нитрата цезия. После встряхивания в течение 24 ч (время для установления статического равновесия) осадок отделяли от равновесного раствора. Раствор анализировали на остаточное содержание ионов цезия атомно-эмиссионным методом на атомноабсорбционном спектрометре ZEE nit 700 р. По экспериментальным данным рассчитывали статическую обменную емкость

$$\text{СОЕ} = \frac{(C_{\text{исх.}} - C_{\text{равн.}})}{20a}, \text{ мг/г,}$$

где  $C_{\text{исх.}}$  – концентрация исходного раствора, мг/л;  $C_{\text{равн.}}$  – концентрация равновесного раствора мг/л; 20 – коэффициент пересчета;  $a$  – навеска, г а. с. в.

Эффективность поглощения ионов цезия

$$\Theta = \frac{C_{\text{исх.}} - C_{\text{равн.}}}{C_{\text{исх.}}} \cdot 100, \%,$$

где  $C_{\text{исх.}}$  – концентрация исходного раствора, мг/л;  $C_{\text{равн.}}$  – концентрация равновесного раствора мг/л.

Коэффициент распределения

$$K_d = \frac{\text{СОЕ}}{C_{\text{равн.}}}, \text{ мл/г,}$$

где СОЕ – статическая обменная емкость, мл/г,  $C_{\text{равн.}}$  – равновесная концентрация раствора, мг/мл.

Регистрация ИК-спектров была выполнена на ИК-спектрофотометре с Фурье-преобразованием IRPrestige-21 (Schimadzu) методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), который позволяет исследовать сильно поглощающие образцы в нативном состоянии без дополнительной пробоподготовки. При исследовании использовали приставку однократного отражения MIRacle с призмой ZnSe.

#### **Результаты и их обсуждение.**

Геоботаническая, физико-химическая характеристики образцов сфагнового торфа и их компонентный состав представлены в табл. 1–3.

**Таблица 1. Геоботаническая характеристика образцов верхового малоразложившегося торфа, отобранного на месторождении «Радемье»**

**Table 1. Geobotanical characteristics of samples of low-decomposed peat taken from the Rademye field**

Объект исследования	Тип торфа	Степень разложения, %	Вид торфа	Ботанический состав	Содержание, %
Сфагновый торф (ОАО «Зеленоборское»)	Верховой	15–20	Сфагновый магелланникум	Магелланникум Ангустифолиум Шейхцерия Пушица Фускус	60 20 10 10 ед.

**Таблица 2. Физико-химические свойства сфагнового торфа**

**Table 2. Physical and chemical properties of sphagnum peat**

Объект исследования	Влажность, %	Зольность, %	pH (водная вытяжка)	Органических веществ, % на сухое вещество
Сфагновый торф (ОАО «Зеленоборское»)	37,5	4,6	3,3	95,4

**Таблица 3. Компонентный состав сфагнового торфа**

**Table 3. Component composition of sphagnum peat**

Объект исследования	Битумы, %	Легко-гидролизуемые вещества, %	Трудно-гидролизуемые вещества, %	Сумма гидролизуемых веществ, %	Гуминовые кислоты, %	Фульвокислоты, %	Гуминовые вещества, %	Негидролизуемый остаток, %
Сфагновый торф (ОАО «Зелено-борское»)	3,2	36,8	24,5	61,3	16,8	8,4	25,2	10,3

По данным, приведенным в табл. 1, сфагновый торф характеризуется невысокой степенью разложения, которая находится в пределах 15–20 %.

Изучение компонентного состава сфагнового торфа (табл. 3) свидетельствует о высоком содержании легкогидролизуемых веществ, выход которых в торфе достигал 37 % от органической массы. Как известно, легкогидролизуемые компоненты представлены гексозными и пентозными сахарами, а также пектинами, что позволяет рассматривать их как дополнительный источник углеводного питания сельскохозяйственных животных, а также как сорбент, учитывая способность пектинов связывать ионы тяжелых металлов, радионуклиды и другие различные токсианты.

Эффективность поглощения ионов цезия композиционными сорбентами на основе сфагнового торфа и ферроцианидов металлов представлена в табл. 4.

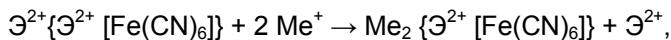
По способности сорбировать ионы цезия, исходя из сравнения экспериментальных данных табл. 4, получен ряд сродства композиционных сорбентов к иону цезия: торф +  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$  > торф +  $\text{K}_2\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$  > торф +  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  > торф +  $\text{Zn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  > торф +  $\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  > торф +  $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  > торф.

**Таблица 4. Эффективность поглощения ионов цезия композиционными сорбентами на основе сфагнового торфа и ферроцианидов металлов**

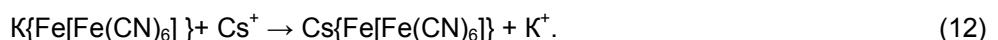
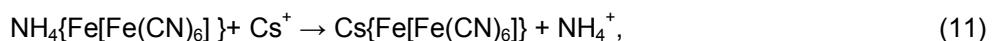
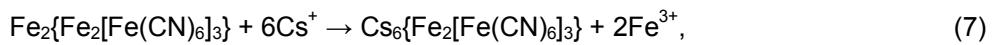
**Table 4. Efficiency of absorption of caesium ions by composite sorbents based on sphagnum peat and metal ferrocyanides**

Сорбент	СОЕ, мг/г	Эффективность поглощения, %	$K_d$ , мл/г
Сфагновый торф	3,5	57,4	74,2
Сфагновый торф + ферроцин	5,3	4791,7	99,4
Сфагновый торф + $K_2Cu_3[Fe(CN)_6]$	5,1	99,4	4603,9
Сфагновый торф + $Cu_2[Fe(CN)_6]$	4,7	98,0	3931,9
Сфагновый торф + $Zn_2[Fe(CN)_6]$	4,5	96,3	1160,7
Сфагновый торф + $NH_4Fe[Fe(CN)_6]$	4,3	82,9	228,0
Сфагновый торф + $KFe[Fe(CN)_6]$	4,1	73,5	125,8

Полученные результаты можно объяснить химизмом протекающих процессов. Представляя смешанные ферроцианиды как полиядерные комплексные соединения или неорганические иониты, входящие в состав синтезированных композитов, сорбцию цезия можно описать следующими химическими уравнениями согласно схеме



где  $\mathcal{E} = Cu^{2+}, Zn^{2+}, Mn^{2+}$  и др., а  $Me = K^+, Cs^+, Rb^+$ .

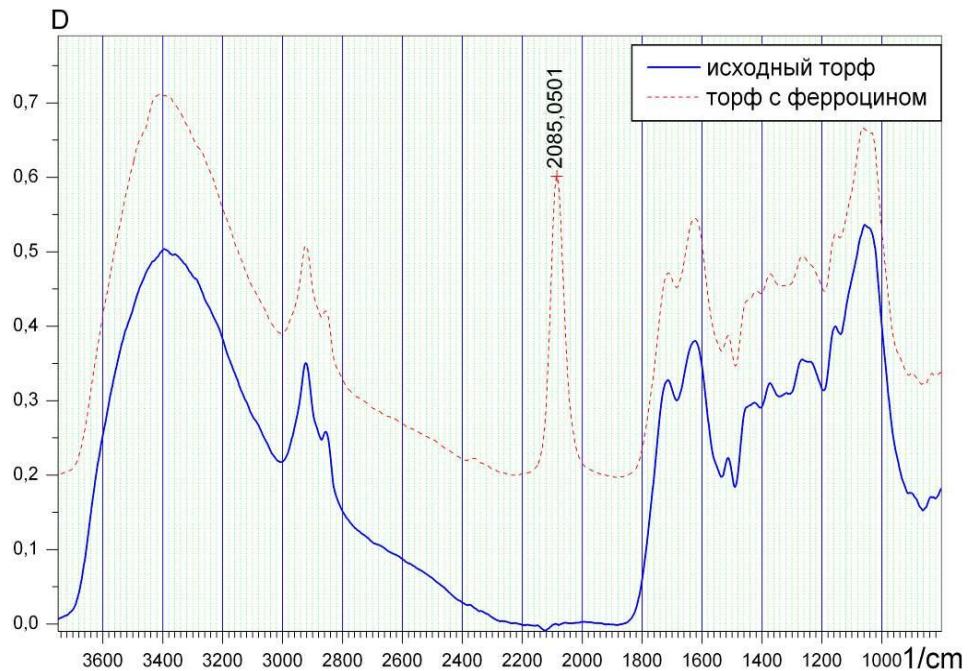


Анализ приведенных уравнений показывает, что наибольшее количество цезия сорбируется композитом, содержащим ферроцин (уравнение 7), и композитом, содержащим смешанный калиево-медный гексацианоферрат – четыре иона цезия (уравнение 8). Меньше всего сорбируется ионов цезия композитами, содержащими смешанные аммонийжелезо- и калийжелезо-ферраты – один ион цезия (уравнения 11 и 12 соответственно), что согласуется с экспериментальными данными, приведенными в табл. 4.

На основании анализа полученных данных в качестве кормовой добавки нами выбран композит, включающий торф и гексацианоферрат железа (ферроцин).

На рисунке представлены ИК-спектры исходного и модифицированного ферроцином торфа. Как видно из рисунка, на спектре торфа, модифицированного ферроцином, наблюдается полоса поглощения иона ферроцианида ( $\lambda = 2085 \text{ } 1/\text{cm}$ ).

Наработан лабораторный образец композиционного сорбента, содержащего торф и ферроцин. Предварительные испытания кормовой добавки в рационе бычков, проведенные Институтом радиобиологии НАН Беларуси, показали кратность снижения содержания  $^{137}Cs$  в мясной продукции примерно в 6 раз по сравнению с контролем.



**ИК-спектры исходного и модифицированного ферроцином торфа**

**IR-spectra of the initial and ferrocin-modified peat**

**Заключение.** Разработана энтеросорбционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа. Опираясь на анализ ранее проведенных исследований и данных из литературных источников, обоснован выбор торфяного сырья – сфагнового торфа для получения эффективной энтеросорбционной кормовой добавки. Проведена модификация торфа гексацианоферратами металлов. Изучены сорбционные свойства полученных композитов по отношению к иону цезия. Определены СОЕ и  $K_d$ , эффективность поглощения из 0,001 н. растворов нитрата цезия. На основании анализа сорбционных характеристик по способности сорбировать ионы цезия получен ряд средства композиционных сорбентов к иону цезия: торф +  $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$  > торф +  $\text{K}_2\text{Cu}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$  > торф +  $\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  > торф +  $\text{Zn}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  > торф +  $\text{NH}_4\text{Fe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  > торф +  $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  > торф. Обоснован выбор композита, включающий сфагновый торф и гексацианоферрат железа (ферроцин) в качестве энтеросорбционной кормовой добавки с радиопротекторными свойствами. Изучены спектральные свойства материала. Показано, что на ИК-спектре торфа, модифицированного ферроцином, наблюдается полоса поглощения иона ферроцианида ( $\lambda = 2085 \text{ } 1/\text{cm}$ ). Институтом радиобиологии НАН Беларусь разработан лабораторный образец композиционного сорбента, содержащего торф и ферроцин. Предварительные испытания кормовой добавки в рационе бычков, проведенные Институтом радиобиологии НАН Беларусь, показали кратность снижения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в мясной продукции примерно в 6 раз по сравнению с контролем.

#### Список использованных источников

- Новые аспекты получения и применения адсорбционных материалов на основе торфа / В. К. Жуков [и др.] // Природопользование. – 2002. – № 8. – С. 167–182.
- Биологически активная кормовая добавка с сорбционными свойствами для поросят-отъемышей / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 249–261.
- Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларуская навука, 2009. – 328 с.
- Композиционный энтеросорбент на основе торфяного активированного угля / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование. – 2018. – № 2. – С. 128–133.

## References

1. Zhukov V. K., Tomson A. E., Samsonova A. S., Sokolova T. V., Nikolaenkov A. I. *Novye aspekty polucheniya i primeneniya adsorbsionnykh materialov na osnove torfa* [New aspects of production and application of peat-based adsorption materials]. *Prirodopolzovanie = Nature Resources*, 2002, no. 8, pp. 167–182. (in Russian)
2. Tomson A. E., Naumova G. V., Ovchinnikova T. F., Sokolova T. V., Zhmakova N. A., Tsaryuk T. Ya., Makarova N. L., Sosnovskaya N. E. *Biologicheski aktivnaya kormovaya dobavka s sorbtionnymi svoistvami dlya porosyat-otemyshei* [Biologically active feed additive with sorption properties for weaning piglets]. *Prirodopolzovanie = Nature Resources*, 2019, no. 1, pp. 249–261. (in Russian)
3. Tomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and products of its processing]. Minsk, Belaruskaya nauka Publ., 2009, 328 p. (in Russian)
4. Tomson A. E., Sokolova T. V., Navosha Yu. Yu., Tsaryuk T. Ya., Sosnovskaya N. E., Bulgakova N. A., Pekhtereva V. S., Falyushina I. P., Tsarenok A. A. *Kompozitsionnyi enterosorbent na osnove torfyanogo aktivirovannogo uglya* [Composite enterosorbent based on peat activated carbon]. *Prirodopolzovanie = Nature Resources*, 2018, no. 2, pp. 128–133. (in Russian)

### Информация об авторах

**Томсон Алексей Эммануилович** – кандидат химических наук, доцент, заместитель директора по научной работе, заведующий Центром по торфу и сапропелям, заведующий лабораторией экотехнологий, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, Минск, Беларусь). E-mail: altom@nature-nas.by

**Соколова Тамара Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: tomsok49@tut.by

**Сосновская Наталья Евгеньевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: natalisosnov@mail.ru

**Навоша Юльян Юльянович** – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: navoscha@tut.by

**Царюк Татьяна Яковлевна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: tsariuk9@mail.ru

**Пехтереева Виктория Станиславовна** – научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: rehvik@yandex.ru

**Фалюшина Ирина Петровна** – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: info@nature-nas.by

**Царенок Александр Александрович** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Институт радиобиологии НАН Беларуси (ул. Федюнинского, 16, 246000, г. Гомель, Беларусь). E-mail: a.tsarenok@tut.by

### Information about the authors

**Alexey E. Tomson** – Ph. D. (Chemical), Assistant Professor, Deputy Director, Head of the Center of Peat and Sapropel, Head of Lab. of Ecotechnology, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: altom@nature-nas.by

**Tamara V. Sokolova** – Ph. D. (Technical), Assistant Professor, Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: tomsok49@tut.by

**Nataliya E. Sosnovskaya** – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: natalisosnov@mail.ru

**Yulian Yu. Navosha** – Ph. D. (Physical and Mathematical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: navoscha@tut.by

**Tatiana Ya. Tsariuk** – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: tsariuk9@mail.ru

**Victoriya S. Pekhtereva** – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: pehvik@yandex.ru

**Iryna P. Faliushina** – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: info@nature-nas.by

**Alexander A. Tsarenok** – Ph. D. (Technical), Head of Laboratory, Institute of Radiobiology of the National Academy (16, Fedyuninsky Str., 246000, Gomel, Belarus). E-mail: a.tsarenok@tut.by

**НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ**  
**SCIENTIFIC REPORT**

---

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2020-2-132-135>

УДК 504.05/.06:711.4

Поступила в редакцию 20.10.2020

Received 20.10.2020

**ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ  
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ СОГЛАСНО ТРЕБОВАНИЯМ  
ЕВРОПЕЙСКОГО БАНКА РЕКОНСТРУКЦИИ И РАЗВИТИЯ**

**Сурен Гюргянян<sup>1</sup>, Артак Тер-Торосян<sup>1</sup>, О. Г. Савич-Шемет<sup>2</sup>, Ю. П. Анцух<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Общество с ограниченной ответственностью «ATMS Solutions», Ереван, Республика Армения

<sup>2</sup>Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности и принципы методологии оценки воздействия на окружающую среду в соответствии с требованиями Европейского банка реконструкции и развития в Беларуси. Приведена сравнительная характеристика проведения оценки воздействия в республике и согласно требованиям Европейского банка реконструкции и развития.

**Ключевые слова:** оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС); анализ экологического воздействия (АЭВ); загрязнение; социально-экономические аспекты воздействия.

**Для цитирования.** Гюргянян Сурен, Тер-Торосян Артак, Савич-Шемет О. Г. Анцух Ю. П. Особенности проведения оценки воздействия на окружающую среду согласно требованиям Европейского банка реконструкции и развития // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 132–135.

**FEATURES OF ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT  
ACCORDING TO THE EUROPEAN BANK'S  
FOR RECONSTRUCTION AND DEVELOPMENT REQUIREMENTS**

**Suren Gyurjinyan<sup>1</sup>, Artak Ter-Torosyan<sup>1</sup>, O. G. Savich-Shemet<sup>2</sup>, Yu. P. Antsukh<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Limited liability company ‘ATMS Solutions’, Yerevan, Armenia

<sup>2</sup>Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**Annotation.** The article discusses the features and principles of the methodology for environmental impact assessment with the requirements of the European Bank for Reconstruction and Development in Belarus. A comparative description of the impact assessment in the Republic and in accordance with the requirements of the European Bank for Reconstruction and Development is given.

**Keywords:** environmental impact assessment (EIA); analysis of the environmental impact (AEI); pollution; socio-economic aspects of impact.

**For citation:** Gyurjinyan Suren, Ter-Torosyan Artak, Savich-Shemet O. G., Antsukh Yu. P. Features of environmental impact assessment according to the European Bank's for Reconstruction and Development requirements. *Nature Management*, 2020, no. 2, pp. 132–135.

**Введение**

Концепция национальной безопасности Беларусь рассматривает переход к устойчивому развитию при сбалансированном решении социально-экономических задач и проблем, связанных с охраной окружающей среды, как важнейшее условие обеспечения национальных интересов в области экономики.

---

Оценка воздействия на окружающую среду, или Environmental Impact Assessment – термин Международной ассоциации по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС; International Association for Impact Assessment – IAIA). Промышленно развитые страны, столкнувшиеся с проблемой ухудшения состояния окружающей среды, были вынуждены начать разработку методики и системы экспертиз. Экологическая экспертиза начала проводиться с 1965 г. в Японии, с 1970 г. – в США, с 1973 г. – в Канаде, с 1976 г. – во Франции и Испании, с 1977 г. – в Нидерландах, с 1979 г. – в Китае и т. д. В СССР экспертные комиссии при Госкомприроды были созданы лишь в 1988 г. Процедура ОВОС предшествовала появлению экологической экспертизы в зарубежных странах и, по существу, явилась ее прообразом. ОВОС впервые была проведена в Югославии в 1969 г., в США – более 20 лет назад. В настоящее время во многих странах ОВОС закреплена законодательно [1].

#### ***Методологические особенности процедуры ОВОС в странах Евросоюза (ЕС)***

В настоящее время в странах ЕС накоплен богатый опыт в области экологической оценки проектов реализации намечаемой деятельности. Согласно требованиям к проведению современной процедуры EIA в странах ЕС, разработчики обязаны решить следующие вопросы при подготовке материалов EIA.

- Какие стратегические эколого-экономические решения, принятые до подготовки материалов EIA, должны быть учтены?

- Что можно сказать относительно последующих стадий?

- Каким образом можно достигнуть лучшей интеграции EIA в процесс планирования и принятия решения?

- Каково влияние прочих воздействий (экономических, социальных и пространственных)?

Планирование проектов развития – длительный, сложный, многосторонний процесс. Процедура EIA предусматривает обоснование технических решений и получение ряда согласований предпроектной и проектной документации для реализации намечаемой хозяйственной деятельности, а именно:

- 1) принятие решений относительно целей проекта (до начала проведения процедуры EIA);

- 2) рассмотрение альтернатив при подготовке EIA, их сравнение, обоснование выбора (следующая стадия планирования);

- 3) анализ технических решений, которые могут иметь серьезные последствия для окружающей среды (при подготовке EIA);

- 4) рассмотрение изменений среды обитания, вызванных строительством, физическим присутствием и эксплуатацией объекта, таких как шум, снижение качества воздуха, загрязнение почвы и водных объектов (выпуски сточных вод), угнетение флоры и фауны (фактор беспокойства), а также социальные проблемы (снижение рекреационных свойств среды, уменьшение числа рабочих мест и т. д.).

Правовые основы проведение EIA представлены в соответствующей директиве ЕС (2014/52/EU).

#### ***Требования Европейского банка реконструкции и развития к EIA***

Европейский банк реконструкции и развития (ЕБРР) рассматривает экологическую и социальную устойчивость в качестве одного из основополагающих аспектов для достижения результатов, предусмотренных его мандатом, признает проекты, способствующие экологической и социальной устойчивости, что относит к приоритетам своей деятельности. Иными словами, одним из условий финансирования проектов развития со стороны ЕБРР является соответствие текущей деятельности организации – получателя кредита ЕБРР, а также мероприятий/действий в рамках проекта требованиям, установленным Экологической и социальной политикой ЕБРР (в редакции 2019 г.) [2].

Согласно экологической и социальной политике ЕБРР предъявляется 10 «пакетов» требований (TP) к реализации проектов, финансируемых ЕБРР, относящихся к ключевым направлениям экологической и социальной устойчивости:

- TP 1 – Оценка и управление экологическими и социальными воздействиями;
- TP 2 – Трудовые отношения и условия труда;
- TP 3 – Ресурсоэффективность, предотвращение и контроль загрязнения окружающей среды;
- TP 4 – Охрана здоровья и безопасность;
- TP 5 – Приобретение земель, вынужденное переселение и экономическое перемещение;
- TP 6 – Сохранение биологического разнообразия и устойчивое управление природными ресурсами;
- TP 7 – Коренные народы;
- TP 8 – Культурное наследие;
- TP 9 – Финансовые посредники;
- TP 10 – Обнародование информации и взаимодействие с заинтересованными сторонами.

С целью анализа потенциальных экологических и социальных рисков проекта ЕБРР применяется Процедура EIA, называемая анализом экологического воздействия (АЭВ). Данный анализ прово-

дится с учетом требований национального законодательства страны, в которой предполагается реализация хозяйственной деятельности, а также требований нормативно-правовой базы ЕС в сфере охраны окружающей среды [3]. Проведение экологических исследований обеспечивается заказчиком проекта намечаемой деятельности в соответствии с правилами ЕБРР по выполнению АЭВ для получения достаточного объема информации, которая позволит Совету директоров банка принять решение о возможности финансирования проекта.

АЭВ выполняется при реализации проектов строительства, масштабного расширения или конверсии ввиду их потенциальной экологической опасности, а также других типов проектов, которые могут оказать негативное воздействие на охраняемые или уязвимые территории (национальные парки, другие заповедники национального или регионального значения, включая районы, представляющие археологический интерес; районы, имеющие значение для этнических групп; районы, подверженные эрозии и/или опустыниванию; заболоченные территории и т. д.) [1].

ЕБРР присваивает проектам определенную категорию для определения требуемого характера и уровня экологических и социальных исследований.

**Категория «А».** Проекты, которые могут стать источником потенциально серьезных экологических и (или) социальных воздействий, которые на момент присвоения ему той или иной категории трудно определить или оценить и для которых в силу этого требуется официально оформленный и основанный на глубоком изучении процесс оценки экологических и социальных воздействий. Для таких проектов необходима полномасштабная экологическая и социальная оценка воздействия, разработка отчета и установленный период предоставления информации (стандартно определен длительностью в 120 дней).

**Категория «В».** Проекты, потенциальные неблагоприятные будущие экологические и (или) социальные воздействия которых ограничены районом местонахождения объекта и (или) без труда поддаются выявлению и нейтрализации с помощью мер смягчения воздействий. Требования к предварительной экологической и социальной оценки могут варьироваться в зависимости от специфики проекта и устанавливаются ЕБРР на индивидуальной основе. Для таких проектов требуется проведение экологической и социальной оценки проекта.

Проекту присваивается **категория «С»**, если его потенциальные неблагоприятные будущие экологические и (или) социальные воздействия, по всей вероятности, будут минимальными или отсутствуют и могут быть легко урегулированы в рамках предварительной экологической и социальной оценки.

Окончательное решение относительно намечаемого к реализации проекта принимается во время утверждения Советом директоров ЕБРР. При этом во время окончательного рассмотрения проект может быть отклонен в случае, если он связан со значительными экологическими рисками или если проектной документацией не предусмотрено в достаточной мере решение экологических проблем.

**Выходы.** В отличие от белорусского законодательства требования ЕБРР указывает перечень видов деятельности, требующих проведения АЭВ. Эти виды деятельности делят на категории А, В, С в зависимости от значимости их последствий для окружающей среды. Степень детализации АЭВ, требуемого для каждой категории, четко определена в экологических правилах Банка.

При проведении АЭВ согласно требованиям ЕБРР более существенное внимание уделяется социально-экономическим факторам воздействия, что в национальных ОВОСах обычно представлено лишь теоретически и, как правило, не имеет количественного выражения. При этом в рамках проектов ЕБРР социально-экономическая оценка на уровне как макроэкономических показателей, так и социально-экономических показателей воздействия на затронутые проектом группы населения, при возможности должна представляться количественно.

Основной отличительной чертой при проведении АЭВ в соответствии с требованиями ЕБРР является рассмотрение воздействия и последствий реализации проекта на стадии реконструкции и эксплуатации, тогда как национальное законодательство такого рода воздействия и, соответственно, мероприятия по их смягчению не рассматривает.

ЕБРР также уделяет особое внимание гендерным вопросам, а также вопросам отчуждения земель и имущества для нужд проекта, в том числе оценке экономических потерь физических и юридических лиц.

Стоит также отметить, что не все белорусские проекты разрабатываются при участии общественности по той причине, что процедура участия общественности в формате обязательных «живых» обсуждений с участием затронутых проектами органов местного самоуправления, профильных общественных организаций и населения не закреплена законодательно и иногда носит формальный характер. В то же время при реализации АЭВ по требованиям ЕБРР они обязательны, более того, замечания и предложения, сформулированные в результате общественных обсуждений, должны в обязательном порядке быть учтены в АЭВ.

Окончательное решение в отношении намечаемой хозяйственной деятельности является заключительным этапом процедуры проведения АЭВ в соответствии с требованиями ЕБРР. В соответствии с белорусским законодательством это решение принимается при проведении государственной экологической экспертизы, которая следует за ОВОС, занимает определенное, не всегда регламентированное время, что делает процедуру более бюрократизированной.

В то же время анализ показал, что требования белорусского законодательства в области проведения ОВОС в целом соответствуют передовым международным практикам, в частности требованиям ЕБРР, которые в свою очередь основываются на законодательстве ЕС. Однако для дальнейшей гармонизации национальных нормативно-правовых требований с международной передовой практикой рекомендуется учесть выявленные несоответствия требованиям ЕБРР.

#### Список использованных источников

- Головина, Ю. Ю. От истории развития процедуры ОВОС к необходимости разработки методологии оценки воздействия нефтегазодобычи на морские арктические системы // Вестник МГТУ. – 2006. – Т. 9, № 3. – С. 478–485.
- Экологическая и социальная политика ЕБРР. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ebrd.com/environmental-and-social-policy.html>. – Дата доступа: 07.10.2020 г.
- Экологическая политика ЕС. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/environment.html?root\\_default=SUM\\_1\\_CODED%3D20](https://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/environment.html?root_default=SUM_1_CODED%3D20). – Дата доступа: 07.10.2020 г.

#### References

- Golovina Yu. Ot istorii razvitiya procedury OVOS k neobhodimosti razrabotki metodologii ocenki vozdejstviya neftegazodobychi na morskie arkticheskie sistemy* [From the history of the development of the EIA procedure to the need to develop a methodology for assessing the impact of oil and gas production on marine Arctic systems]. Vestnik MSTU, 2006, vol. 9, no. 3, pp. 478–485. (in Russian)
- Ekologicheskaya i social'naya politika EBRR* [Environmental and social policy of the EBRD]. Available at: <https://www.ebrd.com/environmental-and-social-policy.html> (accessed 07 October 2020). (in Russian)
- Ekologicheskaya politika ES* [Environmental policy of the EU]. Available at: [https://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/environment.html?root\\_default=SUM\\_1\\_CODED%3D20](https://eur-lex.europa.eu/summary/chapter/environment.html?root_default=SUM_1_CODED%3D20). (accessed 07 October 2020). (in Russian)

#### Информация об авторах

Гюргянян Сурен – кандидат экономических наук, эксперт по социальной оценке ООО «ATMS Solutions», (ул. В. Сарсяна 26/3, 0010, г. Ереван, Армения). E-mail: [suren.gyurjinyan@atms.am](mailto:suren.gyurjinyan@atms.am)

Тер-Торосян Артак – кандидат технических наук, эксперт по экологической оценке ООО «ATMS Solutions», (ул. В. Сарсяна 26/3, 0010, г. Ереван, Армения). E-mail: [artak.ter-torosyan@atms.am](mailto:artak.ter-torosyan@atms.am)

Савич-Шемет Оксана Григорьевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: [savichoks@yandex.ru](mailto:savichoks@yandex.ru)

Анцух Юлия Петровна – младший научный сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220076, г. Минск, Беларусь). E-mail: [jyulga@yandex.by](mailto:jyulga@yandex.by)

#### Information about the authors

Suren Gyurjinyan – Ph. D (Economics), social impact assessment expert 'ATMS Solutions' LTD (V. Sargsyan 26/3, 0010, Yerevan, Armenia)

Artak Ter-Torosyan – Ph. D. (Technical), environmental impact assessment expert 'ATMS Solutions' LTD (V. Sargsyan 26/3, 0010, Yerevan, Armenia)

Oksana G. Savich-Shemet – Ph. D. (Geography), Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: [savichoks@yandex.ru](mailto:savichoks@yandex.ru)

Yuliya P. Antsukh – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny str., 220076, Minsk, Belarus). E-mail: [jyulga@yandex.by](mailto:jyulga@yandex.by)

**ЮБИЛЕИ**  
**JUBILEE**

**К 70-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ В. Г. ЖОГЛО**  
**TO THE 70th ANNIVERSARY OF V. G. ZOGLO**

22 августа 2020 г. исполнилось 70 лет доктору геолого-минералогических наук, заведующему лабораторией гидрогеологии и гидроэкологии Института природопользования НАН Беларуси Василию Гавриловичу Жогло – известному гидрогеологу, крупному специалисту в области региональной и нефтяной гидрогеологии, динамики подземных вод и моделирования гидрогеологических процессов.

Василий Гаврилович после окончания с серебряной медалью средней школы в родной полесской деревне Острожанка Лельчицкого района Гомельской области поступил на геологическое отделение Белорусского государственного университета. В 1970 г. курс, на котором он учился, был переведен на геологический факультет созданного Гомельского государственного университета (ГГУ). Окончив его с отличием в 1972 г., В. Г. Жогло остался работать на кафедре ассистентом и после службы в Советской армии в 1973 г. поступил в аспирантуру ГГУ. Здесь в 1979 г. Василий Гаврилович защитил кандидатскую диссертацию, посвященную проблемам нефтяной гидрогеологии Припятского прогиба, и продолжил работу в должности сначала преподавателя, затем старшего преподавателя, доцента, заведующего кафедрой инженерной геологии и гидрогеологии, а потом и декана геологического факультета.



В период работы в ГГУ (1976–2003) В. Г. Жогло успешно сочетал педагогическую и научную работу. В этот период им были выполнены важные разработки по созданию региональных и локальных математических моделей подземной гидросферы восточной части Белорусского Полесья. Они позволили выявить как общие закономерности формирования подземных вод всего региона, так и разработать долгосрочные прогнозы их состояния на локальных участках, испытывающих особенно интенсивные антропогенные нагрузки (Гомельский химический завод, нефтепромыслы, сосредоточенный водоотбор на групповых водозаборах и др.).

В 2003 г. Василий Гаврилович Жогло подготовил и защитил докторскую диссертацию «Закономерности формирования подземных вод верхнего этажа гидролитосферы в условиях техногенеза (на примере юго-востока Беларуси)».

Работая в последующем в ОАО «Белгорхимпром» и Белорусской гидрогеологической экспедиции РУП «Белгеология», Василий Гаврилович занимался актуальными практическими вопросами безопасности Солигорских калийных рудников и гидрогеологическими проблемами нашей республики.

В формировании В. Г. Жогло как ученого-гидрогеолога большое значение имели стажировки в зарубежных научных центрах: Фрайбергской горной академии (1982–1983) и на кафедре гидрогеологии Московского государственного университета у профессора В. М. Шестакова (1989).

Василий Гаврилович, в последующем работая в Белорусском научно-исследовательском и проектном институте нефти, возглавил отдел моделирования резервуаров и разработки нефтяных месторождений. Здесь под его руководством были выполнены работы по математическому моделированию гидрогеологических процессов на нефтеносных структурах Припятского прогиба, что позволило значительно усовершенствовать способы разработки нефтяных месторождений, особенно имеющих засоленные коллекторы.

В 2016 г. В. Г. Жогло возглавил кафедру «Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений и транспорт нефти» в Гомельском государственном техническом университете имени П. О. Сухого. В сфере научных интересов исследователя продолжали оставаться вопросы нефтяной гидрогеологии.

В 2017 г. по приглашению академика А. К. Карабанова Василий Гаврилович возглавил в Институте природопользования НАН Беларуси лабораторию гидрогеологии и гидроэкологии. Здесь разрабатываемые им методы математического моделирования гидрогеологических процессов получили применение для оценки водозащитных свойств надсолевой толщи на Старобинском месторождении калийных солей, а также для обоснования систем мониторинга подземных вод на участках размещения

экологоопасных объектов – солеотвалов и шламохранилищ солигорских калийных комбинатов и Петриковского горно-обогатительного комбината.

В. Г. Жогло – автор 134 опубликованных работ в указанной области, в том числе 6 монографий, а также 5 изобретений.

Свой 70-летний юбилей Василий Гавrilovich встретил наполненным творческой энергией и каждой реализации задуманных планов. Среди коллег В. Г. Жогло пользуется большим уважением как прекрасный специалист-гидрогеолог. Людей привлекают и его замечательные человеческие качества – доброжелательность и уравновешенность, целеустремленность и оптимизм.

Друзья и коллеги поздравляют Василия Гавриловича Жогло с юбилеем и желают ему крепкого здоровья, творческих успехов и счастья!

*Р. Г. Гарецкий, Г. П. Бровка, В. И. Пашкевич,  
Я. Г. Грибик, Р. Э. Гирин, А. А. Махнач,  
Н. М. Томина и редколлегия*

**Научное издание**  
*Scientific publication*

**ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**  
*NATURE MANAGEMENT*

**№ 2, 2020**

---

**Редактор** Н. Т. Гавриленко  
*Editor* N. T. Gavrilenko

**Компьютерная верстка** Т. Н. Козловская  
*Computer page making* T. N. Kozlovskaya

---

Подписано в печать 28.12.2020. *Signed into print 28.12.2020.*  
Формат 60×90/8. Бумага офсетная. *60×90/8 format. Office paper.*  
Гарнитура Ариал. Печать цифровая. *Arial garniture. Digital print.*  
Усл. печ. л. 16,04. *Conditional printed sheets 16.04.*  
Уч.-изд. л. 14,7. *Conditional edited sheets 14.7.*  
Тираж 120 экз. *Circulation 120 copies.*  
Заказ № 1339. *Order No. 1339.*

Полиграфическое исполнение  
Государственное предприятие  
«СтройМедиаПроект».  
Свидетельство о государственной  
регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя  
печатных изданий  
№ 2/42 от 13.02.2014.  
Ул. В. Хоружей, 13/61, 220123, г. Минск

*Polygraph execution  
State Enterprise  
‘StroiMediaProject’.  
The Certificate of state registration  
of the publisher, manufacturer,  
distributor of  
printed publications.  
No. 2/42 from 13.02.2014.  
13/61, V. Choruzhey Str., 220123, Minsk*