

ISSN 2079-3928



Природо- пользование



1
2019

Государственное научное учреждение

«Институт природопользования
Национальной академии наук Беларуси»

Природопользование

2019. № 1

Основан в 1996 г. как сборник научных трудов.

В 2018 г. преобразован в журнал.

Выходит 2 раза в год

Главный редактор

Карабанов А. К. – академик, доктор геолого-минералогических 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

Бамбалов Н. Н. – академик, доктор сельскохозяйственных 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

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

Лысенко С. А. – доктор физико-математических наук

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, 220114, г. Минск.

Тел. (017) 267-26-32, факс (017) 267-24-13.

E-mail: nature@ecology.basnet.by.

Веб-страница: <http://ecology.basnet.by/jurnal/Prirodopolzovanie.html>

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

Nature Management

2019. № 1

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

Editor-in-Chief

Aleksandr Karabanov – Academician, D.Sc. (Geology and Mineralogy), 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
Nikolai Bambalov – Academician, D.Sc. (Agricultural), Professor
Gennadiy Brovka – D.Sc. (Technical)
Yaroslav Gribik – Ph.D. (Geology and Mineralogy)
Sergey Kakareka – D.Sc. (Technical)
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
Sergey Lysenko – D.Sc. (Physical and Mathematical)
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)
Arcaduy 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., 220114, Minsk, Republic of Belarus.
Phone: (017) 267-26-32, fax: (017) 267-24-13.
E-mail: nature@ecology.basnet.by

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

Логинов В. Ф., Лысенко С. А., Бровка Ю. А. <i>Loginov V. F., Lysenko S. A., Brovka Yu. A.</i>	Изменения температуры Земного шара и их обусловленность 6 внешними и внутренними факторами <i>Earth's surface temperature changes and their exposure to internal and external factors</i>	17
Лысенко С. А., Чернышев В. Д., Коляда В. В. <i>Lysenko S. A., Chernyshhev V. D., Kalyada V. V.</i>	Сеточный архив метеорологических данных Республики Беларусь и возможности его применения для исследования пространственно-временных особенностей изменений климата <i>A grid archive of meteorological data of the Republic of Belarus and the opportunity of its use in research of spatial-temporal peculiarities of climate changes</i>	17
Кокош Ю. Г., Какарека С. В. <i>Kokosh Yu. G., Kakareka S. V.</i>	Сезонная динамика содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси <i>Seasonal dynamics of formaldehyde concentrations in atmospheric air of Belarusian cities</i>	28
Руденко Л. Г., Голубцов А. Г., Чехний В. М., Иваненко Е. И., Дидух Я. П., Лисовский С. А., Маруняк Е. А., Костюшин В. А. <i>Rudenko L. H., Golubtsov O. H., Chekhniy V. M., Ivanenko Eu. I., Didukh Ya. P., Lisovski S. A., Maruniak Eu. O., Kostiushev V. A.</i>	Методика оценивания территории для формирования сети заповедных объектов в Украине <i>Methodology of territory assessment for the development of protected areas network in Ukraine</i>	37
Суховило Н. Ю., Новик А. А. <i>Sukhovilo N. Yu., Novik A. A.</i>	Пространственные особенности устойчивости озер Беларуси 51 к эвтрофированию <i>Spatial features of resistance of lakes of Belarus to eutrophication</i>	51
Савич-Шемет О. Г., Гапанович Е. В., Анцуух Ю. П. <i>Savich-Shemet O. G., Gapanovich E. V., Antsuh Yu. P.</i>	Учет фактора атмосферных осадков в организации очистки поверхности стока с урбанизированной территории (на примере г. Минска) <i>Accounting of atmospheric sediments factor in the organization of cleaning the surface drain from urbanized territory (on the example of Minsk city)</i>	66
Хомич В. С., Савченко С. В., Рыжиков В. А., Глушень Е. М., Романкевич Ю. А., Зайн Эль-Динь Р. М. <i>Khomich V. S., Savchenko S. V., Ryzhikov V. A., Glushen E. M., Romankevich Yu. A., Zain El-Dinh R. M.</i>	Проблемы обращения с городскими почвами, загрязненными нефтепродуктами и тяжелыми металлами <i>Problems of handling with urban soils, polluted petroleum products and heavy metals</i>	76
Ракович В. А., Бамбалов Н. Н. <i>Rakovich V. A., Bambalov N. N.</i>	Научное обоснование направлений использования выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Гомельской области с учетом их воздействия на окружающую среду <i>Scientific substantiation of the directions of use peat deposits after peat excavation of the Gomel region taking into account their environmental impact</i>	91

Камышенко Г. А. <i>Kamyshenka H. A.</i>	Анализ урожайности картофеля в Витебской области в изменяющихся погодно-климатических условиях <i>Analysis of potato yield in the Vitebsk region in changing weather and climatic conditions</i>	98
Рупасова Ж. А., Яковлев А. П., Решетников В. Н., Ярошук А. А., Коломиец Э. И., Алещенкова З. М., Лиштван И. И., Карбанович Т. М. <i>Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Reshetnikov V. N., Yaroshuk A. A., Kolomiets E. I., Aleshchenkova Z. M., Lishtvan I. I., Karbanovich T. M.</i>	Изменчивость количественных характеристик биохимического состава плодов голубики в зависимости от эдафического и метеорологических факторов <i>Variability of quantitative characteristics of the biochemical composition of fruits of a blueberry depending on edaphic and meteorological factors</i>	107
Кухарчик Т. И., Чернюк В. Д., Козыренко М. И. <i>Kukharchyk T. I., Chernyuk V. D., Kazyrenko M. I.</i>	Регулирование обращения с полибромдифениловыми эфирами в Беларуси и других странах <i>Approaches to polybromodiphenyl ethers regulation in Belarus and in other countries</i>	121
ГЕОЛОГИЯ. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ GEOLOGY. MINERALS		
Гарецкий Р. Г., Карагаев Г. И., Голобоков С. В., Сушкевич С. Л., Хибиев А. К. <i>Garetsky R. G., Karataev G. I., Golobokov S. V., Sushkevich S. L., Khibiev A. K.</i>	Глубинное строение литосферы Балтийско-Приднестровского перикратонного опускания <i>Deep structure of the lithosphere of the Baltic and Pridnestrovsk pericraton lowering</i>	134
Гарецкий Р. Г., Карагаев Г. И. <i>Garetsky R. G., Karataev G. I.</i>	Астеносфера – ведущий фактор формирования тектоносферы Припятского и Днепровского грабенов <i>An astenosphere is a leading factor of forming of tektonosfery of the Pripyat and Dnepr Grabens</i>	146
Матвеев А. В. <i>Matveyev A. V.</i>	Районирование территории западной части Белорусского Полесья по степени комфортности геологической среды для населения <i>The zonation of the western part of the Belarusian Polesie on the geological environment comfort levels for the population</i>	154
Матвеев А. В., Зерницкая В. П. <i>Matveyev A. V., Zernitskaya V. P.</i>	Современные геологические процессы на территории Белорусского Поозерья <i>Modern geological processes on the territory of the Belarusian Poozer'e</i>	163
Айзберг Р. Е., Грибик Я. Г., Бескопыльный В. Н. <i>Aizberg R. E., Gribik Y. G., Beskopylnyi V. N.</i>	Нетрадиционные источники углеводородного сырья в недрах Беларуси <i>Non-traditional sources of hydrocarbon raw materials in subsoil of Belarus</i>	171
Лиштван И. И., Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Навоша Ю. Ю. <i>Lishtvan I. I., Kurzo B. V., Gaidukevich O. M., Navosha Yu. Yu.</i>	Ресурсы и качественный состав торфяного сырья на месторождениях, зарезервированных для термобиохимической переработки <i>Resources and qualitative composition of peat raw material in the reserved deposits for the thermobiochemical processing of peat</i>	188
Бровка А. Г., Дедюля И. В. <i>Brovka A. G., Dziadziulia I. V.</i>	Влияние промораживания на прочностные свойства горных пород из участков проходки шахтных стволов <i>Influence of freezing on the strength properties of rocks from the sites of shaft sinking</i>	205

ГЕОТЕХНОЛОГИИ. ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

GEOTECHNOLOGY. EXTRACTION, PROCESSING

AND THE USE OF SOLID FUEL MINERALS

Селянина С. Б., Орлов А. С., Пономарева Т. И., Труфанова М. В., Ярыгина О. Н., Соколова Т. В., Сосновская Н. Е., Пехтерева В. С.

Selyanina S. B., Orlov A. S., Ponomareva T. I., Trufanova M. V., Yarygina O. N., Sokolova T. V., Sosnovskaya N. E., Pekhtereva V. S.

Коврик С. И., Кушнерова С. А., Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А.

Kovrik S. I., Kushnerova S. A., Bambalov N. N., Sokolov G. A.

Картыжова Л. Е., Алещенкова З. М., Короленок Н. В., Яковлев А. П., Булавко Г. И., Антохина С. П., Соколова Т. В., Сосновская Н. Е., Пехтерева В. С.

Kartyzhova L. E., Aleschenkova Z. M., Korolyonok N. V., Yakovlev A. P., Bulavko G. I., Antokhina S. P., Sokolova T. V., Sosnovskaya N. E., Pehtereva V. S.

Дударчик В. М., Крайко В. М., Ануфриева Е. В.

Dydarchik V. M., Kraiko V. M., Anyfrieva E. V.

Соколов Г. А., Красноберская О. Г., Феофанов Д. А., Добринец Е. А.

Sokolov G. A., Krasnoberskaya O. G., Feofanov D. A., Dobrinets E. A.

Томсон А. Э., Наумова Г. В., Линкевич С. А., Овчинникова Т. Ф., Соколова Т. В., Жмакова Н. А., Царюк Т. Я., Макарова Н. Л., Навоша Ю. Ю., Сосновская Н. Е., Пехтерева В. С., Фалиушына И. П., Макеенко А. А.

Tomson A. E., Naumova G. V., Linkevich S. A., Ovchinnikova T. F., Sokolova T. V., Zhmakova N. A., Tsariuk T. Ya., Makarova N. L., Navosha Yu. Yu., Sosnovskaya N. E., Pehtereva V. S., Faliushyna I. P., Makeenko A. A.

Сорбционные свойства верхового торфа Прибеломорской провинции (Россия) 211

Sorption properties of peat of the Pribelomorsk province (Russia)

Обоснование способа выделения гуминовых веществ из торфа для получения жидких концентрированных микроэлементных удобрений 219

Substantiation of selection method of humic substances from peat to produce liquid concentrated microelement fertilizer

Микробиологическая активность почвы на выработанных торфяных месторождениях при использовании микробно-растительной ассоциации 225

Microbiological activity of soil on elaborated peat deposits during the use of microbial-plant association

Сравнительный анализ эффективности действия катализаторов при пиролизе низинного торфа и бурых углей 236

The comparative analysis of the efficiency of catalyst actions during the pyrolysis of lowland peat and brown coal

Влияние микробиологического препарата «Полибакт» на агрохимические характеристики ферментируемого субстрата 244

The impact of «Polybact» microbiological agent on the agrochemical properties of the fermented substrate

Биологически активная кормовая добавка с сорбционными свойствами для поросят-отъемышей 249

Biologically active feed additive with sorption properties for weaning pigs

ХРОНИКА CHRONICS

Хомич В. С., Логинов В. Ф.

Khomich V. S., Loginov V. F.

Географические и геоэкологические аспекты развития зеленой экономики на постсоветском пространстве 262

Geographical and geoecological aspects of green economy development in the post-soviet space

ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ
GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

УДК 551.583

Поступила в редакцию 03.04.2019

Received 03.04.2019

**ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА И ИХ ОБУСЛОВЛЕННОСТЬ
ВНЕШНИМИ И ВНУТРЕННИМИ ФАКТОРАМИ**

В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, Ю. А. Бровка

Институт природопользования Национальной академии наук Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье представлены результаты исследования роли водяного пара и других внешних и внутренних факторов в изменении глобальной температуры. С использованием рядов данных нормированных среднемесячных температур Национального центра климатических данных США выполнен анализ трендов температуры в Северном и Южном полушарии с 1948 по 2017 г. Для обоих полушарий наблюдалась пауза в изменении летних и зимних температур в 1948–1968 гг. и значительный ее рост (скачок) в последующий период (1968–1998 гг.). В последние годы (1998–2014 гг.) постоянный рост температуры сохраняется только в летнее время в Северном полушарии; зимой рост температуры замедлился или даже сменился ее падением.

Изменение содержания водяного пара и оптической толщины облаков, аэрозолей рассматриваются как главные причины изменений глобальной температуры, происходящих на фоне трендовой ее составляющей. Так, интенсивный рост аномалий температуры Земного шара отмечался в период паузы в изменении содержания водяного пара в атмосфере и оптической толщины облаков (1968–1992 гг.) за счет радиационного форсинга парниковых газов. В периоды уменьшения водяного пара в атмосфере и, как следствие, уменьшения оптической толщины облаков наблюдалось замедление роста аномалий температуры либо даже падение температуры (1948–1968 гг.), когда радиационный форсинг парниковых газов существенно уступал радиационному форсингу водяного пара и оптической толщине облачности.

К похолоданию климата в период с 1945 по 1994 гг. могло привести и дополнительное аэрозольное загрязнение, которое было связано с увеличением выбросов антропогенных и вулканических аэрозолей в это время. Очищение атмосферы от аэрозолей естественного и антропогенного происхождения в последнюю четверть века способствовало росту температуры в теплое время года.

Ключевые слова: тренд температуры; водяной пар; оптическая толщина облаков; аэрозоль; пауза в изменении температуры.

Для цитирования. Логинов В. Ф., Лысенко С. А., Бровка Ю. А. Изменения температуры Земного шара и их обусловленность внешними и внутренними факторами // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 6–16.

**EARTH'S SURFACE TEMPERATURE CHANGES AND THEIR
EXPOSURE TO INTERNAL AND EXTERNAL FACTORS**

V. F. Loginov, S. A. Lysenko, Yu. A. Brovka

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

Abstract. The significance of water vapor and other internal and external factors of the Earth's surface temperature changes are examined. Linear trends of air temperature in North and South Earth's Hemispheres have been analyzed using the USA National Center Climatic Data for period from 1948 to 2017. A "pause" in summer and winter air temperature changes from 1948–1968 for both hemispheres as well as a fast rising (jump) of global temperature in the subsequent period (1968–1998) were observed. In the recent years (1998–2014) the summer air temperature in the North Hemisphere have been continuing to rise whereas the winter warming have been slowed down and even have been changed by cooling.

The water vapor, aerosols, clouds and their interactions are considered to be the main drivers of global temperature fluctuations superimposed on the long-term warming trend. During the period of total column water vapor and clouds optical thickness stabilization (1968–1992) the intense rise of the Earth's surface temperature induced by the radiative forcing of greenhouse gases was observed. During the periods of total column water vapor decline accompanied by the declining of clouds optical thickness (1948–1968) the internal fluctuations of radiative forcing at the bottom of atmos-

sphere surpass its greenhouse gases induced fluctuations so the global warming was slowed down or even changed by cooling (in winter).

The period of global cooling from 1945–1968 could be associated with high level of the aerosol pollution of atmosphere. Atmosphere brightening caused by the reduction of anthropogenic and volcanic aerosol emissions in the last quarter of a century has been speeding up the summer temperature rise.

Key words: temperature trend; water vapor; clouds optical thickness; aerosol; pause in temperature change.

For citation. Loginov V. F., Lysenko S. A., Brovka Yu. A. Earth's surface temperature changes and their exposure to internal and external factors. *Nature Management*. 2019, no. 1, pp. 6–16.

Введение. Пространственно-временные изменения температуры в разных районах Земного шара исследовались в многочисленных работах [1–9]. Скорость изменений температуры в различные периоды претерпевала значительные изменения: от нескольких сотых градуса / 10 лет до 0,35 °C / 10 лет. В отдельные периоды времени знак тренда изменений температуры изменялся даже на противоположный. Например, в период с середины 40-х годов до конца 60-х годов прошлого столетия тренд глобальной температуры стал отрицательным [10]. Таким образом, на фоне роста температуры за последние почти 170 лет отмечались как периоды быстрого роста температуры, так называемые скачки в изменении температуры, так и периоды медленных ее изменений или даже падения температуры, которые можно назвать паузами. Продолжительность скачков и пауз, как показывают многочисленные работы [11–15], изменяется от нескольких лет до нескольких десятков лет. Причины скачков и пауз на фоне роста температуры, приписываемого воздействию парниковых газов, могут быть как внешними, так и внутренними. Как правило, короткопериодные флюктуации в изменении температуры считают случайными, описываемыми моделями «белого» или «красного» шума, а длительные колебания относят к воздействию различных внешних и внутренних факторов. Вопрос причинности скачков и пауз считается дискуссионным и требует дальнейших исследований.

Современные глобальные и региональные изменения температуры, наблюдавшиеся за период инструментальных наблюдений, имеют более сложный характер, чем антропогенные изменения содержания парниковых газов в атмосфере.

Результаты исследований. Нами выполнено детальное исследование трендов температуры Земного шара с использованием рядов данных нормированных среднемесячных температур Национального центра климатических данных США (NOAA National Climatic Data Center – NCDC).

Использование при анализе информации только за последний период времени (1948–2017 гг.) аргументируется двумя причинами: наличием более полных и достоверных климатических данных; а также большей выраженностью форсинга парниковых газов антропогенного происхождения.

Величины изменений коэффициентов линейных трендов температуры в указанные периоды в Северном и Южном полушариях (рис. 1) существенно отличались в зимние и летние месяцы года в последний период (1998–2014 гг.). Роль парниковых газов в изменении температуры должна быть выражена слабее в летнее время, тогда как скорость роста летней температуры в последний период оказалась, наоборот, выше, чем зимней. Величины и знаки коэффициентов линейных трендов температуры сохранились в летние месяцы с 1968 по 2014 г. в Северном полушарии (см. рис. 1). В Южном полушарии сколько-нибудь выраженного тренда в изменении температуры в период с 1998 по 2014 г. как зимой, так и летом не наблюдалось (рис. 2). Характер и величина изменений температуры в предыдущие два периода (1948–1968 и 1968–1998 гг.) в обоих полушариях сохранялись.

Рассмотрим возможные причины изменений температуры Земного шара.

Известно, что естественные многолетние колебания температуры поверхности Мирового океана модулируют испарение в атмосферу. Водяной пар, обладая мощными полосами поглощения в ближней, средней и длинноволновой ИК-области спектра, является наиболее важным парниковым газом, на долю которого приходится почти 2/3 парникового эффекта атмосферы. Кроме того, он участвует практически во всех процессах превращения энергии в масштабах планеты, влияет на образование облаков и оптические свойства аэрозолей.

Принято считать, что с повышением глобальной температуры воздуха содержание водяного пара в атмосфере также увеличивается, усиливая суммарное длинноволновое нагревание атмосферы и подстилающей поверхности [16, 17]. Однако имеющиеся данные глобальных спутниковых и аэрологических наблюдений, демонстрируют чуть ли не противоположную тенденцию в развитии указанных процессов. Так, по данным работы [18] среднеглобальная толщина осажденного слоя водяного пара в атмосфере (Total Column Water Vapor, TCWV) понижалась с 1988 по 1993 г. со средней скоростью 0,154 мм/год. Отклонения от этой тенденции произошли в годы мощного Эль-Ниньо в конце прошлого века, однако, даже с учетом этих лет величина тренда TCWV остается отрицательной. Результаты независимых исследований [19] показывают, что уменьшение содержания водяного пара с 1990 по 2001 годы происходило в средней и верхней тропосфере. В слое атмосферы, ограниченном

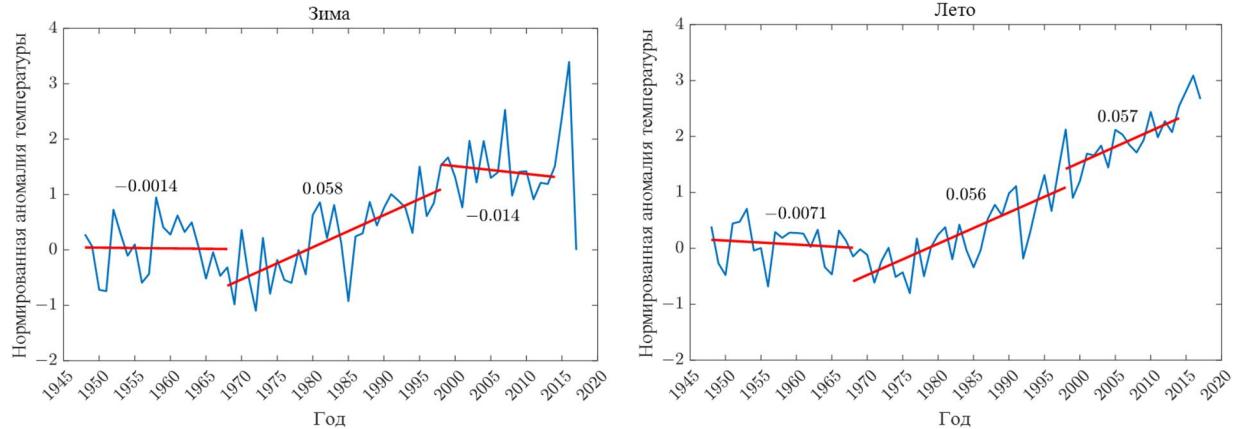


Рис. 1. Тренды аномалий температуры в Северном полушарии, нормированные на среднеквадратическое отклонение. Тренды относятся к следующим периодам: 1948–1968, 1968–1998, 1998–2014 гг.

**Fig. 1. North Hemisphere temperature anomaly normalized to their standard deviation.
Linear trends correspond to periods 1948–1968, 1968–1998, 1998–2014**

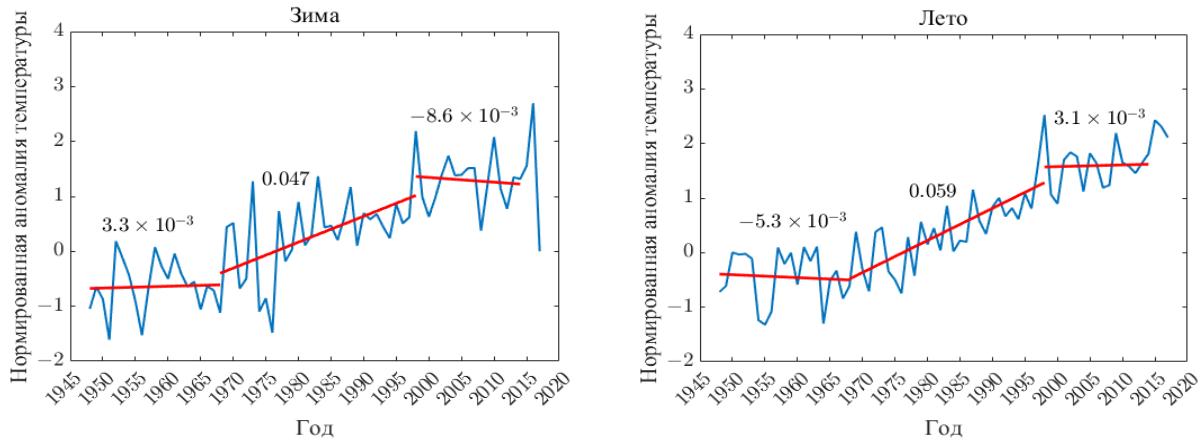


Рис. 2. Тренды аномалий температуры в Южном полушарии, нормированные на среднеквадратическое отклонение. Тренды относятся к следующим периодам: 1948–1968, 1968–1998, 1998–2014 гг.

**Fig. 2. South Hemisphere temperature anomaly normalized to their standard deviation.
Linear trends correspond to periods 1948–1968, 1968–1998, 1998–2014**

уровнями давления 700 и 300 мбар, уменьшение толщины осажденного слоя водяного пара за указанные годы составило ~1,12 мм. Согласно расчетам переноса длинноволнового излучения в атмосфере, такое изменение TCWV привело к уменьшению скорости радиационного прогревания Земли на величину ~2,723 Вт/м², что противоположно по знаку и в 16 раз больше по величине парникового эффекта, обусловленного ростом концентрации CO₂ за те же годы. Если исходить из данных аэрологических измерений NOAA Earth System Research Laboratory, то падение влажности воздуха в средней и верхней тропосфере происходило, начиная с 1948 г. [19]. На уровне атмосферы с давлением 400 мбар (средний энергетический уровень атмосферы) удельная влажность воздуха (г/кг) к 2012 г. уменьшилась примерно на 14 % по сравнению с 1948 г. При этом она изменялась во времени неравномерно: с конца 60-х до начала 90-х годов прошлого столетия фактически была постоянной, а до и после этого стремительно уменьшалась. Интересно отметить, что период паузы в изменении удельной влажности совпал с интенсивным глобальным потеплением, а ее интенсивное падение – с паязами в изменении глобальной температуры.

В работе [20] обнаружено, что отношение смеси для водяного пара в стратосфере с 2000 по 2009 г. было примерно на 10 % ниже, чем в предыдущие годы. По расчетам климатических моделей это замедлило рост глобальной температуры примерно на 25 %. Анализ данных американского спутникового радиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) показывает, что с 2003 по 2012 г. происходило статистически значимое уменьшение содержания водяного пара во всем слое

атмосфера, как над поверхностью суши, так и над океанами с величинами соответствующих трендов $-0,10$ и $-0,17$ мм/год [21].

Несмотря на важную роль водяного пара в процессах формирования климата, исследованию его связи с глобальной температурой Земли и механизмам, обусловливающим эту связь, на наш взгляд, уделяется недостаточно внимания. Между тем водяной пар является важнейшим фактором, способным влиять на быстрые глобальные изменения климата Земли и определять его короткопериодные флюктуации.

При уменьшении общего слоя водяного пара в атмосфере на 2 мм его радиационное воздействие (радиационный форсинг) ослабляется на величину около $0,9$ Вт/м², что примерно в 11 раз больше и противоположно по знаку форсингу углекислого газа при возрастании его концентрации в атмосфере за период с 2001 г. на 27 ppm [22]. В этой связи интересно отметить, что приблизительно на порядок отличается среднее содержание водяного пара и углекислого газа в атмосфере в высоких и средних широтах, и только в низких широтах это соотношение может быть большим на два порядка.

Радиационный форсинг снижения оптической толщины (СОТ) облаков за период с 2001 по 2014 г. на 0,13 составил $0,93$ Вт/м². Указанные факторы – радиационный форсинг водяного пара и оптической толщины облаков – собственно и обеспечили стабилизацию (паузу) температуры в это время.

Более выраженная пауза, а точнее даже падение температуры на Земном шаре наблюдались в период с 1945 по 1968 гг. Ниже рассмотрим связь изменений температуры Земного шара с изменением влажности в атмосфере.

Изменения удельной влажности в атмосфере на высоте 400 мбар за период с 1948 по 2017 г. по данным реанализа NCEP/NCAR представлены на рис. 3.

Уровень 400 мбар в атмосфере располагается ближе всего к так называемому среднему энергетическому уровню [23]. Изменение удельной влажности на этом уровне коррелирует с общим содержанием водяного пара в столбе атмосферы ($r = 0,47$, $P_{\text{случ.}} < 5\%$), что позволяет использовать ряд удельной влажности как показатель общего содержания водяного пара в атмосфере.

Из рис. 3 следует, что изменения удельной влажности (в г/кг) за указанный период, можно разделить на три подпериода, в которые скорость изменения удельной влажности существенно различается:

1-й период – 1948–1968 гг. – в изменении удельной влажности заметен ярко выраженный отрицательный тренд; удельная влажность уменьшается приблизительно на 0,05 г/кг. Коэффициент линейного тренда равен – 0,0026;

2-й период – 1968–1992 гг. – в изменении удельной влажности практически не наблюдается тренда, хотя короткопериодные флюктуации имеют приблизительно такую же мощность, как и для всего доступного ряда. Коэффициент линейного тренда равен – 0,00009;

3-й период – 1992–2014 гг. – в изменении удельной влажности содержится отрицательный тренд, но удельная влажность изменяется почти в 2 раза меньше, чем в первом периоде. Именно с 1992 г. и произошло увеличение скорости Тихоокеанских пассатов, что оказало существенное влияние на изменение содержания влаги в атмосфере. Коэффициент линейного тренда составляет – 0,0005.

Если сопоставить ряд удельной влажности в атмосфере с рядом изменения температуры Земного шара, то можно увидеть ряд важных особенностей в изменении сопоставляемых характеристик.

1. Величина аномалий температуры Земного шара интенсивно увеличивалась в период паузы в изменении содержания водяного пара в атмосфере (1968–1992 гг.). В это время трендовая составляющая суммарного радиационного форсинга водяного пара и оптической толщины облаков, вероятно, практически оставалась постоянной, что позволило радиационному форсингу парниковых газов обеспечивать непрерывный рост аномалий температуры Земного шара.

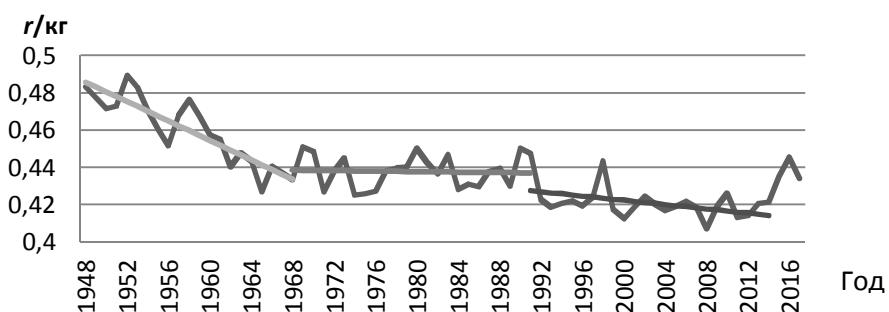


Рис. 3. Изменение удельной влажности в слое атмосферы на уровне 400 мбар за период с 1948 по 2017 г.

Fig. 3. Specific humidity at 400 mb pressure level from 1948 to 2017

2. В периоды уменьшения водяного пара в атмосфере и, как следствие, уменьшение оптической толщины облаков их суммарный радиационный форсинг затушевывает радиационный форсинг парниковых газов. Это приводит либо к стабилизации в изменении аномалий температуры (уменьшению роста аномалий температуры) при небольших изменениях содержания водяного пара в атмосфере (как это было в 2001–2014 гг.), либо даже к падению температуры, как это было при существенно больших изменениях водяного пара в атмосфере (1948–1968 гг.), когда радиационный форсинг парниковых газов существенно уступал радиационному форсингу водяного пара и оптической толщине облачности.

Проведем сравнительный анализ указанных пауз в изменении температуры Земного шара за период с 1945 по 2017 г. более детально. Здесь и далее к паузам в изменении температуры будем относить такие периоды времени, когда скорость изменения температуры в течение двух десятилетий или более близка к нулю, или становится отрицательной (уменьшение температуры), а также периоды, когда скорость роста температуры более чем в 2 раза меньше, чем для предыдущего 20–30-летнего периода.

Степень выраженности паузы в изменении температуры Земного шара можно оценить разницей величин линейного тренда температуры для предшествующего периода и периода паузы. Для первой паузы (1945–1968 гг.) эта разница составила 0,016, тогда как для второй – только 0,008, т. е. первая пауза (1945–1968 гг.) была более выражена по сравнению со второй.

Если принять в расчет влияние на температуру двух главных парниковых газов – водяного пара и углекислого газа, – то скорость падения содержания водяного пара в атмосфере во время первой паузы было в 5 раз интенсивнее, чем во время второй паузы. Это должно было обеспечить большее падение температуры, чем во время второй паузы. Однако оно оказалось существенно меньшим, что связано со следующими причинами. Совокупное радиационное воздействие парниковых газов, по данным, приведенным в работе [21], составляло в 1950 г. – 0,57 Вт/м², 1980 г. – 1,25, 2011 г. – 2,29 Вт/м².

Расчеты, проведенные в работе [22], показывают, что снижение содержания водяного пара на 2 мм приводит к снижению форсинга на величину около 0,9 Вт/м², а рост содержания углекислого газа на 27 ppm увеличивает его форсинг почти на 0,1 Вт/м².

В течении первой паузы (1945–1968 гг.) произошло снижение содержания водяного пара на величину более 2,0 мм, а содержания углекислого газа возросло на 15 ppm. Это означает, что рост форсинга углекислого газа на температуру Земного шара не превысил нескольких сотых Вт/м² и, как следствие, это не могло привести к существенному увеличению температуры Земного шара.

Во время второй паузы (1998–2014 гг.) рост содержания углекислого газа составил не менее 30 ppm, что привело к росту форсинга углекислого газа на величину более 0,1 Вт/м². Общая величина форсинга углекислого газа превысила 1 Вт/м² в это время. Величина форсинга водяного пара несколько уменьшилась, что снизило скорость роста температуры Земного шара, но тренд температуры сохранил наметившийся ранее (1968–1998 гг.) положительный знак.

Совершенно иная ситуация в соотношении изменений двух важнейших парниковых газов наблюдалась в период с 1968 по 1998 г. В этот период отмечалась самая большая скорость в повышении температуры Земного шара (более 0,1 °C за десятилетие), а суммарное повышение температуры за указанный период составило около 0,5 °C по отношению к средней температуре в период с 1945 по 1968 г.

Это был период времени, когда в изменении форсинга водяного пара в атмосфере отсутствовала трендовая составляющая, а демпфирующий эффект океана был ослаблен. В этот период акцентировался парниковый эффект, форсинг углекислого газа возрос на несколько десятых Вт/м², а среднее совокупное радиационное воздействие парниковых газов в этот период превысило 1 Вт/м². Этого воздействия оказалось достаточно, чтобы обеспечить рост температуры Земного шара на величину около 0,5°C относительно периода с 1945 по 1968 г.

Рассмотрим характер пространственно-временных изменений водяного пара. С этой целью был проведен детальный анализ пространственно-временных изменений удельной влажности в шести секторах Северного полушария за период с 1949 по 2017 г. Результаты анализа сведены в табл. 1, в которой представлены величины линейных трендов удельной влажности в каждом из шести секторов за три периода времени: 1949–1968, 1968–1992, 1992–2014 гг. – отдельно для зимы, лета и года в целом.

Анализ величин линейных трендов удельной влажности в различных секторах Северного полушария для разных периодов времени также показал, что уменьшение величин среднегодовых линейных трендов удельной влажности в периоды 1968–1992 и 1992–2014 гг. в континентальных секторах Северного полушария – Американском и Сибирском – было близко к нулю (в среднем $\alpha = +0,00005$), тогда как для любой другой пары секторов величины среднегодовых линейных трендов были слабыми отрицательными и находились в интервале от –0,0003 до –0,0009.

Таблица 1. Коэффициенты линейного тренда (α) удельной влажности в различных секторах Северного полушария в разные периоды времени

Table 1. Slope coefficients of specific humidity linear trend (α) for different sectors of the Northern Hemisphere during different periods

Сектор	Период времени, гг.	Сезонные и среднегодовые значения α		
		Зима	Лето	Год
Европейский	1949–1968	-0,00053	-0,0033	-0,0011
	1968–1992	-0,00110	-0,0035	-0,0024
	1992–2014	-0,00011	+0,0010	+0,00024
Атлантический	1949–1968	-0,0043	-0,0048	-0,0043
	1968–1992	+0,00094	0,0000	0,0000
	1992–2014	-0,0013	-0,00058	-0,0013
Тихоокеанский	1949–1968	-0,0024	-0,0054	-0,0030
	1968–1992	-0,00049	+0,0013	+0,00039
	1992–2014	0,0000	-0,0019	-0,00093
Американский	1949–1968	0,0000	-0,0090	-0,0048
	1968–1992	+0,00092	+0,0037	+0,0023
	1992–2014	-0,0017	+0,00023	-0,00097
Сибирский	1949–1968	+0,0012	-0,0073	-0,0029
	1968–1992	+0,00032	-0,0013	-0,00076
	1992–2014	-0,0002	-0,0011	-0,00039
Дальневосточный	1949–1968	-0,0041	-0,013	-0,0076
	1968–1992	-0,00083	-0,0025	-0,0018
	1992–2014	+0,00052	+0,00077	+0,00052

Это может означать, что в континентальных секторах Северного полушария, где трендовая составляющая в изменении содержания удельной влажности в атмосфере оставалась постоянной, форсинг парниковых газов антропогенного происхождения был более выраженным. Там, где содержание водяного пара в атмосфере убывало, тем самым противодействуя росту температуры в результате экспоненциального увеличения содержания парниковых газов в атмосфере, температура должна была уменьшаться. В последние 40–45 лет происходило наиболее существенное увеличение температуры в Американском и Сибирском секторах Северного полушария, т. е. там, где трендовая составляющая водяного пара оставалась практически постоянной, что собственно и создавало оптимальные условия проявления влияния парниковых газов на климат.

Определенный интерес представляет анализ тесноты связи общего содержания водяного пара и температуры Земного шара. Если использовать при этом ряды данных за период наблюдений с 1948 по 2017 г., то коэффициент корреляции (r) сопоставляемых величин составляет $r = -0,55$.

Вероятность случайности обнаруженной связи $P_{\text{случ.}} < 1 \%$. Отрицательный знак связи свидетельствует о том, что в климатической системе существует отрицательная связь температуры Земного шара и водяного пара, но это не согласуется с положением парниковой теории изменения климата. Самое простое объяснение такого характера связи сопоставляемых величин – неоднородность со-стыкованных радиозондовых и спутниковых данных, что привело к нарушению однородности ряда величин содержания водяного пара. Известно, что сеть радиозондовых наблюдений не была глобальной в 40–60-е годы прошлого столетия и данные радиозондовых наблюдений относились в основном к сухе и хорошо развитым регионам Земного шара, т. е. они не были глобальными по охвату территории Земного шара. Однако снижение содержания водяного пара в последний период, по данным спутниковых наблюдений, говорит о том, что этот вопрос не столь прост, как кажется на первый взгляд, и требует дальнейших исследований.

Еще одним важным аргументом, свидетельствующим об аномально большом содержании водяного пара в атмосфере во второй половине 40-х годов прошлого столетия и его интенсивном уменьшении к концу 60-х годов, является формирование самой глубокой паузы в изменении глобального климата в период с 1945 по 1968 г. Только уменьшение содержания водяного пара в атмосфере на величину более 2 мм могло энергетически обеспечить столь крупную паузу в изменении климата в это время. Другим фактором, который мог принять участие в столь значительном уменьшении радиационного форсинга в это время, могли быть аэрозоли естественного и антропогенного происхождения. Прозрачность атмосферы с середины 40-х годов действительно уменьшалась по сравнению с предыдущими двумя десятилетиями [24, 25], но аэрозольный эффект в изменении климата был недостаточным, чтобы объяснить столь существенное снижение температуры по отношению к 30–40-м годам прошлого столетия. Последний период известен как период потепления Арктики, и он был осо-

бенно заметен в теплое время года. Это позволяет его частично приписать снижению аэрозольного загрязнения в это время. Еще меньший радиационный форсинг можно отнести к изменению притока солнечного излучения в 11-летнем и вековом циклах. В 17-м цикле солнечной активности по цюрихской нумерации (1934–1943 гг.) число ярких образований на Солнце (факелов и светлых колец) было непропорционально больше, чем темных образований (пятен), что могло несколько увеличить солнечное излучение и температуру Земного шара в это время, но наступившее затем падение температуры не может быть объяснено в рамках гелиогеофизической гипотезы.

Таким образом, наличие паузы в изменении температуры Земного шара в 40–60-е годы прошлого столетия можно понять только в том случае, если принять, что радиозондовые данные измерений водяного пара в этот период удовлетворительно описывали его снижение в многолетнем ходе в глобальном масштабе.

Теснота и знаки пространственной корреляции трендов температуры для зимнего и летнего сезонов для периодов с разной величиной трендов удельной влажности атмосферы представлены в табл. 2 и 3.

В зимнее время года поле линейных трендов температуры в Северном полушарии в последний период времени (1998–2014 гг.) имеют отрицательную статистически значимую связь с полями линейных трендов температуры в другие периоды (1948–1968 и 1968–1998 гг.), а поле линейных трендов температуры в 1948–1968 гг. связано положительной статистически значимой связью с полем линейных трендов температуры в период 1968–1998 гг. Анализ показал, что пространственное распределение поля одного знака линейных трендов температуры в последний период времени (1998–2014 гг.) противоположное пространственному распределению знака поля линейных трендов температуры в период с 1948 по 1998 гг. Обратная связь сопоставляемых характеристик особенно заметна для двух последних периодов (1968–1998 и 1998–2014 гг.). Это не согласуется с одним из положений теории парникового потепления о более яркой выраженности потепления в континентальных регионах Земного шара: в период с 1998 по 2014 г. на большей части площади континентов в Северном полушарии линейные тренды температуры уменьшились, а зимой стали даже отрицательными, т. е. отмечалось замедление скорости роста температуры.

Более выраженное потепление высоких широт в последний период отвечает теории современного потепления климата, но оно было совсем незаметно или слабо заметно в предыдущие периоды (1948–1968, 1968–1998 гг.), тогда как по мнению его сторонников, потепление началось, по крайней мере, с начала прошлого столетия и должно было проявиться в первую очередь в высоких широтах.

Важное значение в парниковой теории придается положительным альбедным обратным связям в климатической системе. Такие связи должны наиболее активно проявлять себя в зимнее время года. Между тем именно зимой выявлено главное противоречие в пространственном развитии потепления климата – противоположный характер изменения температуры в континентальных районах Северного полушария в различные периоды времени (1968–1998 и 1998–2014 гг.).

В летнее время года теснота пространственной корреляции величин трендов температуры поверхности Северного полушария существенно ниже, но противоположный характер развития потепления в различных регионах, судя по знаку трендов, во время последней паузы в изменении температуры (1998–2014 гг.) и в период самого интенсивного роста температуры (1968–1998 гг.), который

Таблица 2. Коэффициенты пространственной корреляции трендов температуры в Северном полушарии в зимние месяцы

Table 2. Coefficients of spatial correlation between winter temperature trends in the North Hemisphere

Годы	1948–1968	1968–1998	1998–2014
1948–1968	1	0,243	-0,283
1968–1998	0,243	1	-0,580
1998–2014	-0,283	-0,580	1

Таблица 3. Коэффициенты пространственной корреляции трендов температуры в Северном полушарии в летние месяцы

Table 3. Coefficients of spatial correlation between summer temperature trends in the North Hemisphere

Годы	1948–1968	1968–1998	1998–2014
1948–1968	1	-0,146	0,071
1968–1998	-0,146	1	-0,106
1998–2014	0,071	-0,106	1

пришелся практически на нулевую трендовую составляющую в изменении удельной влажности, сохраняется. Равным образом, отрицательная связь величин линейных трендов температуры сохраняется для периодов предыдущей паузы в изменении температуры (1948–1968 гг.) и периода максимального роста температуры (1968–1998 гг.). Пространственная связь величин линейных трендов температуры во время обеих пауз (1948–1968 и 1998–2014 гг.) слабая положительная.

Таким образом, установлен противоположный знак линейных трендов температуры в периоды времени с разной скоростью изменения водяного пара в атмосфере (1968–1998 и 1998–2014 гг.) – зеркальность знака трендов ($r = -0,58$). Это особенно заметно в континентальных районах Северного полушария в зимнее время года. Понижение содержания водяного пара в атмосфере сопровождалось уменьшением скорости роста температуры, особенно в континентальных районах Северного полушария или даже изменением знака линейного тренда температуры в период 1948–1968 г., когда понижение содержания водяного пара в атмосфере было в 6,3 раза больше, чем в период с 1998 по 2014 г.

Наибольший рост величины линейных трендов температуры пришелся на период с практически нулевой скоростью роста содержания водяного пара в атмосфере (1968–1998 гг.). В этот период, как указывалось ранее, форсинг парниковых газов антропогенного происхождения оказался достаточным для того, чтобы обеспечить повышение температуры Северного полушария на величину около $0,5^{\circ}\text{C}$.

Описанные здесь механизмы радиационного форсинга, связанные с водяным паром, оптической толщиной облаков и парниковыми газами, по крайней мере на качественном уровне описывают изменения температуры Земного шара за большую часть периода инструментальных наблюдений.

Еще одним фактором, приведшим к похолоданию климата в период с 1945 по 1968 г., могло стать и дополнительное аэрозольное загрязнение, которое было связано с увеличением выбросов антропогенных и вулканических аэрозолей в это время и в последующие годы. Чистая от аэрозолей атмосфера была в период с середины 20-х до середины 40-х годов прошлого столетия. Вклад аэрозолей в изменение климата, вероятно, составляет не более нескольких десятых Bt/m^2 , хотя после таких крупных извержений, как Эль-Чичон (1982 г.) и Пинатубо (1991 г.), в течение короткого периода времени (менее 2 лет) он мог быть около одного или даже двух Bt/m^2 [25].

Анализ пространственных особенностей в изменении аэрозольного загрязнения в разных регионах Северного полушария показывает, что тенденции в изменении аэрозольного загрязнения сильно различаются. Различаются и причины, обеспечивающие такую пространственную структуру изменений загрязнения.

В развитых странах Западной Европы и Северной Америке снижение аэрозольного загрязнения связано в значительной степени с проведением природоохранных мероприятий. В странах бывшего Советского Союза – это, в первую очередь, падение промышленного производства.

На востоке Украины (Донецкая, Днепропетровская, Харьковская, Запорожская и Луганская области) промышленное и горнодобывающее производство за последнюю четверть века по разным причинам снизилось, и в результате произошло сильное уменьшение аэрозольного загрязнения атмосферы.

В Беларуси главным мероприятием, приведшим к уменьшению аэрозольного загрязнения, был повсеместный переход на газовое топливо. Этот переход, осуществленный в последние два десятка лет, привел к тому, что основным энергоресурсом стал природный газ (78 %). В производстве электроэнергии его вклад составил 95 %. Замена мазута, угля, торфа природным газом привела к уменьшению аэрозольного загрязнения атмосферы, а также к снижению выбросов парниковых газов на величину около 40 %. Определенную роль в уменьшении аэрозольного загрязнения сыграло и снижение промышленного производства, а также природоохранная деятельность.

В Восточной Европе снижение аэрозольного загрязнения в значительной мере связано с падением промышленного производства и частично – с природоохранной деятельностью.

Совершенно иная ситуация складывается в последние два десятилетия в Китае, Индии и других странах Азии, где интенсивно растет промышленное и сельскохозяйственное производство. В этих странах быстрыми темпами растет загрязнение атмосферного воздуха аэрозолями. Последние оказывают значительное влияние на температуру и осадки не только на территории названных стран, но и соседних государств, расположенных по потоку доминирующих переносов воздушных масс. Так, сильное увеличение повторяемости меридиональной южной циркуляции атмосферы (ЭЦМ 13л по Б. Л. Дзерзевскому), начиная с конца 80-х годов прошлого столетия до середины первого десятилетия текущего века, а также в период с 2015 по 2017 г. [26], привело к переносу аэрозолей из Китая на территорию Восточной Сибири. Это привело к формированию значительных отрицательных линейных трендов температуры в этом регионе в указанные периоды в летнее время года. Менее активная меридиональная южная циркуляция (ЭЦМ 13л) с середины 1990-х годов до 2014 г. совпала с меньшими по величине отрицательными трендами температуры на севере Восточной Сибири.

Крупным источником атмосферных аэрозолей являются лесные пожары. Их число в Северной Америке и Сибири за последние 15–20 лет возросло в связи с ростом температуры в это время в указанных районах. Это привело к увеличению числа и интенсивности пожаров в указанных районах. Северо-западные переносы воздушных масс в этих районах способствовали переносу аэрозолей, возникающих при пожарах, на юго-восток, приводя тем самым к уменьшению притока солнечной радиации летом в соседних районах (юго-восточных по потоку) и, как следствие, к понижению температуры в юго-восточных регионах от зоны пожаров.

Пространственный анализ линейных трендов температуры в летнее время года в континентальной части Северной Америки и Сибири показал, что линейные тренды температуры были в последние два десятилетия положительными в регионах больших пожаров и отрицательными на юго-востоке от регионов больших пожаров. Площади, охваченные понижением температуры в летнее время года, занимали не менее 10 % от площади суши в Северном полушарии.

Выводы

Исследование роли водяного пара и других внешних и внутренних факторов в изменении климата Земного шара в последние десятилетия позволило объяснить ряд особенностей его пространственно-временных изменений.

Обнаруженное Кеном Грегори снижение содержания водяного пара в период с 1948 по 2017 г. не было линейным. В период с 1968 по 1992 гг. содержание водяного пара оставалось постоянным (при наличии короткопериодных флюктуаций). Впоследствии скорость падения содержания водяного пара замедлилась, но это замедление оказалось существенно меньшим, по сравнению с периодом с 1948 по 1968 г. Такой сложный характер изменения содержания водяного пара, как показано в нашей работе, корреспондирует с нелинейным ростом температуры Земного шара. Радиационный эффект, связанный со значительным ростом содержания парниковых газов в атмосфере, обеспечил трендовую составляющую в изменении температуры Земного шара со скоростью более 0,1 °С за десятилетие, на фоне которой развивались скачки и паузы в изменении температуры. В период с 1948 по 1968 г. содержание водяного пара снижалось, что и привело к формированию паузы в изменении температуры Земного шара; в это время скорость роста температуры по сравнению с предыдущим периодом уменьшилась более чем в 2 раза. Рост величины форсинга парниковых газов за этот период составил всего несколько сотых Вт/м² и существенно уступал по мощности форсингу, связанному с водяным паром и оптической толщиной облаков.

Таким образом, изменение содержания водяного пара и оптической толщины облаков и аэрозолей рассматриваются в работе как главные причины не трендовых составляющих в изменении температуры Земного шара. Мировой океан, определяющий влагооборот водяного пара и облачность в атмосфере, является главным модулятором циклов, скачков, пауз в изменении климата.

Список использованных источников

- Груза, Г. В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова. – М. : ИГКЭ, 2012. – 194 с.
- Дзюба, А. В. Механизм формирования климатических тенденций в прошлом и текущем столетии / А. В. Дзюба, Г. Н. Панин // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 5. – С. 5–27.
- Кислов, А. В. Климат в прошлом, настоящем и будущем / А. В. Кислов. – М. : МАИК «Наука/Интерperiодика», 2001. – 351 с.
- Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М. : Росгидромет, 2008. – Т. 1 : Изменения климата. – 227 с.
- Переведенцев, Ю. П. Теория климата / Ю. П. Переведенцев. – Казань : Казан. гос. ун-т, 2009. – 504 с.
- Шерстюков, Б. Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата / Б. Г. Шерстюков. – Обнинск : ГУ «ВНИИГМИ–МЦД», 2008. – 246 с.
- Folland, C. Global climate monitoring and assessing climate change / C. Folland, D. Parker // Processing World climate change conference, Moscow, Sep. 29–Oct. 2, 2003. – 2003. – Pp. 68–80.
- Hansen, J. Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide / J. Hansen, et al. // Science. – 1981. – Vol. 213 (4511). – Pp. 957–966.
- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [T. F. Stoker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. (eds.)] Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, 2013.
- Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: доказательная база и международные соглашения по защите климата / В. Ф. Логинов. – Минск, 2018. – 102 с.
- Логинов, В. Ф. Тренды, «скачки» и паузы в изменении глобальной и региональной температуры и их возможные причины / В. Ф. Логинов // Украинский географический журнал. – 2015. – № 1. – С. 12–19.

12. Логинов, В. Ф. Оценка роли Тихого океана в изменениях современного климата / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, С. Л. Ощепков // Изв. РАН. Сер. географ. – 2019. – № 2. – С. 3–12.
13. Современные глобальные изменения природной среды / Изд. МГУ, РАН. – М. : Научный мир, 2006. – Т. 1. – 696 с.
14. Kosaka, Y. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling / Y. Kosaka, S.-P. Xie // Nature. – 2013. – Vol. 501 (7467). – P. 403–407.
15. Tollefson, J. The case of the missing heat / J. Tollefson // Nature. – 2014. – Vol. 505. – Pp. 276–278.
16. Dessler, A. E. Variations of stratospheric water vapor over the past three decades / A. E. Dessler [et. al.] // J. Geophys. Res. Atmos. – 2014. – Vol. 119. – Pp. 12,588–12,598. – doi:10.1002/2014JD021712
17. Dessler, A. E. Water-vapor climate feedback inferred from climate fluctuations, 2003–2008 / A. E. Dessler, Z. Zhang, P. Yang // Geophys. Res. Lett. – 2008. – Vol. 35. – L20705.
18. Vonder Haar, T. H. Water vapor trends and variability from the global NVAP dataset / T. H. Vonder Haar [et. al.] // 16th Symposium on Global Change and Climate Variations. – <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/84927.pdf>.
19. Gregory, K. B. Water Vapor Decline Cools the Earth: NASA Satellite Data [Electronic resource] / K. B. Gregory // Friends of Science. – March 4, 2013. – Mode of access: <http://www.friendsofscience.org/index.php?id=483> – Date of access : 12.02.2019.
20. Solomon, S. Contributions of Stratospheric Water Vapor to Decadal Changes in the Rate of Global Warming / S. Solomon [et. al.] // Science. – 2010. – Vol. 327, 5 March. – Pp. 1219–1223.
21. Kebiao, M. Global Water Vapor Content Decreases from 2003 to 2012: An Analysis Based on MODIS Data / M. Kebiao [et. al.] // Chin. Geogra. Sci. – 2017. – Vol. 27, № 1. – Pp. 1–7.
22. Лысенко, С. А. Роль океана в изменениях глобального и регионального климата / С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов // Доклады БГУИР. – 2018. – № 7 (117). – С. 58–63.
23. Борисенков, Е. П. Вопросы энергетики атмосферных процессов / Е. П. Борисенков. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1960. – 168 с.
24. Кондратьев, К. Я. Тренды солнечной радиации как показатель изменений антропогенного аэрозоля / К. Я. Кондратьев, В. Ф. Логинов, Е. Г. Кравчук // Докл. Акад. наук СССР. – 1990. – Т. 315, № 2. – С. 341–344.
25. Логинов, В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. – Минск : Беларуская навука, 2012. – 266 с.
26. Кононова, Н. К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому / Н. К. Кононова. – М. : РАН, Институт географии, 2009. – 370 с.

R e f e r e n c e s

1. Gruza G. V., Ran'kova E. Y. *Nablyudayemyie i ozhidayemyie izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozduha* [Observed and expected climate changes in Russia: air temperature], Moscow, IGCE, 2002, 194 p. (in Russian).
2. Dzyuba A. V., Panin G. N. *Mehanism formirovaniya klimaticeskikh tendenciy v proshlom i tekushchem stoletii* [Climate trend formation mechanism during the last and current centuries], *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology*, 2007, no. 5, pp. 5–27 (in Russian).
3. Kislov A. V. *Klimat v proshlom, nastoyashchem i budushchem* [Climate in the past, modern times and future], Moscow, MAIK "Nauka/Interperiodika" Publ., 2001, 351 p. (in Russian).
4. *Ocenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata iih posledstviy na territorii Rossiyskoy Federaci. T. 1. Izmeneniya klimata* [Assessment report on climate changes and their consequences on the territory of Russian Federation, Vol. 1. Climate changes], Moscow, Rosgidromet Publ., 2008, 227 p. (in Russian).
5. Perevedentsev Y. P. *Teoriya klimata* [Theory of climate], Kazan, Kazan State University, 2009, 504 p. (in Russian).
6. Sherstyukov B. G. *Regional'nyie i sezonnnyie zakinomernosti izmeneniy sovremenennogo klimata* [Regional and seasonal patterns of modern climate change], Obninsk, RIHMI-WDC, 2008, 246 p. (in Russian).
7. Folland C., Parker D. Global climate monitoring and assessing climate change. Processing World climate change conference, Moscow, Sep. 29–Oct. 2, 2003, pp. 68–80.
8. Hansen J. et al. Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. *Science*. 1981, vol. 213 (4511), pp. 957–966.
9. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. T. F. Stoker, D. Qin, G.-K. Plattner et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge. New York, 2013.
10. Loginov V. F. *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata: dokazatel'naya baza i mezhdunarodnyie soglasheniya po zashchite klimata* [Global and regional changes of climate: evidence base and international agreements on climate protection], Minsk, 2018, 102 p. (in Russian).
11. Loginov V. F. *Trendy, "skachki" i pauzy v izmenenii global'noi i regional'noi temperatury i ih vozmozhnyie prichiny* [Trends, "jumps" and pauses in changes of global and regional temperature and their possible causes], *Ukrainskiy geograficheskiy zhurnal = Ukrainian Geographical Journal*, 2015, no. 1, pp. 12–19 (in Russian).
12. Loginov V. F., Lysenko A. S., Oshchepkov S. L. *Ocenka roli Tihogo okeana v izmeneniyach sovremenennogo klimata* [Estimation of the role of Pacific ocean in modern climate changes], *Izvesiya RAN = Proceedings of RAS*, 2019, no. 2, pp. 3–12 (in Russian).
13. Sovremennyye global'nyie izmeneniya prirodnoi sredy. T. 1. [Modern global changes of natural environment, Vol. 1], Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2006, 696 p. (in Russian).

14. Kosaka Y., Xie S.-P. Recent global-warming hiatus tied to equatorial Pacific surface cooling. *Nature*. 2013, vol. 501 (7467), pp. 403–407.
15. Tollefson J. The case of the missing heat. *Nature*. 2014, vol. 505, pp. 276–278.
16. Dessler A., Zhang E. Z., Yang P. Water-vapor climate feedback inferred from climate fluctuations, 2003–2008. *Geophys. Res. Lett.*, 2008, vol. 35, L20705.
17. Dessler A. E. et. al. Variations of stratospheric water vapor over the past three decades. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 2014, vol. 119, pp. 12,588–12,598, doi:10.1002/2014JD021712.
18. Vonder Haar T. H. et. al. Water vapor trends and variability from the global NVAP dataset. *16th Symposium on Global Change and Climate Variations*. Available at : <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/84927.pdf>.
27. Gregory, K. B. Water Vapor Decline Cools the Earth: NASA Satellite Data. *Friends of Science*. March 4, 2013. Available at : <http://www.friendsofscience.org/index.php?id=483> (Accessed 12 February 2019).
19. Solomon, S. et. al. Contributions of Stratospheric Water Vapor to Decadal Changes in the Rate of Global Warming. *Science*, 2010, vol. 327, 5 March, pp. 1219–1223.
20. Kebiao, M. et. al. Global Water Vapor Content Decreases from 2003 to 2012: An Analysis Based on MODIS Data. *Chin. Geogra. Sci.*, 2017, vol. 27, N 1, pp. 1–7.
21. Lysenko S. A., Loginov V. F. *Rol' okeana v izmeneniyah global'nogo i regional'nogo klimata* [Role of the oceans in global and regional climate changes], *Doklady BGUFR = Proceedings of BSUIR*, 2018, N 7 (117), pp. 58–63 (in Russian).
22. Borisenkov E. R. *Voprosy energetiki atmosfernyh processov* [On the issue of atmospheric processes energy], Leningrad, Godrometeoizdat, 1960, 168 p. (in Russian).
23. Kondrat'yev K. Y., Loginov V. F., Karvchuk E. G. *Trendy solnechnoy radiacii kak pokazatel' izmeneniy antropogen-nogo aerozolya* [Solar radiation trends as indicator of anthropogenic aerosol changes], *Doklady Akademii Nauk SSSR = Proceedings of the Academy of Sciences of USSR*, 1990, vol. 315, no 2, pp. 341–344. (in Russian).
24. Loginov V. F. *Radiacionnye faktory i dokazatel'naya baza sovremennyh izmenenii klimata* [Radiation factor and evidence base of modern climate changes], Minsk, Belaruskaya Navuka Publ., 2012, 266 p. (in Russian).
25. Kononova N. K. *Klassifikaciya cirkulyacionnyh mehanismov Severnogo polushariya po B. L. Dzerdzeevskomu* [Classification of circulation processes of Northern Hemisphere according to Dzerdzeevsky B. L.], Moscow, Institute of Geography of RAS, 2009, 370 p. (in Russian).

Информация об авторах

Логинов Владимир Федорович – академик, д-р географ. наук, проф., гл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Лысенко Сергей Александрович – д-р физ.-мат. наук, доцент, зам. директора по науч. работе, зав. Центром климатических исследований, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: lysenkorf@gmail.com

Бровка Юлия Александровна – канд. геогр. наук, ст. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: brovka.yuliya@mail.ru

Information about the authors

Vladimir F. Loginov – Academician, D. Sc. (Geography), Professor, Chief Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Sergey A. Lysenko – D. Sc. (Physical and Mathematical), Assistant Professor, Deputy Director, Head of Center for Climate Research, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: lysenkorf@gmail.com

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

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. Колядка

Институт природопользования Национальной академии наук Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Впервые для Беларуси разработан сеточный архив данных по средней температуре воздуха и количеству атмосферных осадков за период с 1945 по 2017 г. Архив создан на основе пространственной интерполяции месячных данных метеорологических наблюдений для Республики Беларусь и соседних государств методом обычного кригинга. Разработана компьютерная программа для визуализации, статистического анализа и исследования пространственно-временных особенностей метеорологических полей. Построены карты средних аномалий и коэффициентов линейных трендов сезонных значений температуры воздуха и количества осадков за период современного глобального потепления (1976–2017 гг.). Показано, что использование различных показателей изменений климата дает существенно различающиеся картины их пространственных особенностей. Выделены районы Беларуси со статистически значимыми тенденциями изменений метеорологических параметров.

Ключевые слова: изменение климата; сеточный архив метеорологических данных; температура воздуха; количество осадков; тренд; аномалия; пространственно-временное распределение.

Для цитирования. Лысенко С. А., Чернышев В. Д., Колядка В. В. Сеточный архив метеорологических данных Республики Беларусь и возможности его применения для исследования пространственно-временных особенностей изменений климата // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 17–27.

A GRID ARCHIVE OF METEOROLOGICAL DATA OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND THE OPPORTUNITY OF ITS USE IN RESEARCH OF SPATIAL-TEMPORAL PECULIARITIES OF CLIMATE CHANGES

S. A. Lysenko, V. D. Chernyshev, V. V. Kalyada

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

Abstract. A grid archive of air temperature and precipitation in Belarus from 1945 to 2017 has been developed for the first time. The archive has been created on the basis of Ordinary Kriging spatial interpolation of monthly meteorological data obtained in the Republic of Belarus and neighboring countries. A computer program for visualization, statistical analysis and research of spatial-temporal peculiarities of meteorological fields has been developed. Maps of seasonal air temperature and precipitation mean anomalies as well as slope coefficients of their trends were built for the period of contemporary global warming (1976–2017). We have shown that different indexes of climate change may have significantly different spatial patterns. The regions of Belarus with statistically significant changes of meteorological parameters are identified.

Key words: climate changes; grid archive of meteorological data; air temperature; precipitation; trend; anomaly; spatial-temporal distribution.

For citation. Lysenko S., Chernyshev V., Kalyada V. A grid archive of meteorological data of the Republic of Belarus and the opportunity of its use in research of spatial-temporal peculiarities of climate changes. *Nature Management*. 2019, no. 1, pp. 17–27.

Введение. Парижское соглашение, принятное на Всемирной конференции ООН по климату 12 декабря 2015 г., ставит целью удержать рост средней температуры Земного шара к концу XXI в. в пределах 2 °C относительно доиндустриального уровня, а по возможности ограничить его 1,5 °C. Предполагается, что это позволит существенно снизить риски, связанные с ростом повторяемости экстремальных погодных явлений, подъемом уровня океана, частотой лесных пожаров, увеличением смертности от тепловых волн и др. Первоочередным условием для разработки мер по сдерживанию глобального потепления и адаптации к его рискам на национальном уровне является наличие актуальной и надежной количественной информации о происходящих изменениях климата, дающих адекватное представление о его масштабах, региональных и сезонных особенностях.

Изменения климата в Республике Беларусь в полной мере проявились за последние десятилетия. В этой связи для ее территории выполнены многочисленные оценки, охватывающие, прежде всего, основные параметры климата – температуру воздуха и количество атмосферных осадков [1–14].

В этих оценках основное внимание уделено временному аспекту изменений климата. Оценки выполнялись для репрезентативных метеостанций, либо для административных областей, географических регионов и страны в целом путем осреднения в их границах станционных данных с временным разрешением от суток до года. В основном они представляют собой разности средних значений за различные периоды наблюдений, где за начало современного потепления обычно принимается конец 1980-х годов, а в качестве базы для сравнения фигурируют предшествующие десятилетия либо климатические нормы. Величину изменения климата также определяли по линейному тренду с оценкой его статистической значимости [1, 3, 7, 12].

Изменения климата в пространственном аспекте отражают состояния исследуемого показателя за период потепления и предшествующий ему период в виде картограмм. Представление об изменении климата получается на основе сравнения разновременных карт, которые строили с использованием данных наблюдений для различного количества метеостанций, разных периодов, методов интерполяции и градаций показателя [11, 14]. Большинство таких карт было построено для сумм температур выше 10 °C с целью обоснования схемы агроклиматического районирования территории Беларуси [5, 6, 8, 13].

Полученные количественные оценки позволяют однозначно судить о росте термических ресурсов на территории Беларуси за последние десятилетия, однако относительно величин этого роста, в особенности относительно характера их территориального распределения наблюдаются заметные различия, логично вытекающие из различий в использованных данных и подходах: число метеостанций, периоды наблюдений, способы оценки, методы интерполяции [15].

Выходом является унификация процедур получения подобных оценок. Такая унификация была предпринята в рамках мониторинга изменений климата на территории стран СНГ. Основными показателями здесь являются скорость изменений и аномальность климата. Скорость изменений климата измеряется коэффициентом линейного тренда, оцениваемым по методу наименьших квадратов. Мерой существенности тренда является доля объясняемой им общей дисперсии переменной, выражаемая коэффициентом детерминации. Тренды рассчитываются по возрастающим периодам, начиная с 1976 г. для температуры (°C/10 лет) и сумм осадков (% от нормы за 10 лет). Изменения считаются реальными при их статистической значимости на 1 %-м либо 5 %-м уровнях ошибки по критерию Стьюдента. Аномальность климата определяется отклонением текущего значения показателя от его значения за рекомендованный Всемирной метеорологической организацией (ВМО) период наблюдений с 1961 по 1990 г. [16–18].

ТERRITORIALНОЕ распределение этих показателей в годовом и сезонном выражении отражают мелкомасштабные карты для стран СНГ в целом, а также карты сезонных аномалий температуры и осадков по группам стран, например, для Беларуси, Украины и Молдовы. Эти карты вместе с графиками, табличной и текстовой информацией в основном обеспечивают возможность межрегиональных и межстрановых сравнений, но не позволяют получить детальную характеристику изменений климата на территории Беларуси [18].

Цель настоящей работы – представить сеточный архив метеорологических данных, впервые созданный для Республики Беларусь на основе пространственной интерполяции месячных данных по средней температуре воздуха и количеству атмосферных осадков на ее территории с учетом данных для приграничных районов соседних государств за период 1945–2017 гг., рассмотреть особенности его компьютерной реализации и возможности применения для анализа пространственных и временных особенностей региональных метеорологических полей.

Статья состоит из трех разделов. В первом разделе приводится описание исходных данных и метода их пространственной интерполяции, а также оценивается ее точность. Во втором разделе дается описание разработанной компьютерной программы для визуализации, статистического анализа и исследований пространственно-временных особенностей метеорологических полей. Наконец, в третьем разделе приводятся карты показателей изменений сезонных значений температуры и количества осадков на территории Беларуси, начиная с 1976 г., что примерно соответствует активной фазе современного потепления в Северном полушарии, проводится анализ особенностей этих изменений.

Исходные данные и метод их интерполяции. Временные ряды данных стандартных метеорологических наблюдений относятся к дискретным пунктам на земной поверхности и часто содержат пропуски. Для решения многих прикладных задач в области геофизики, климатологии, гидрологии, экологии, природопользования и землепользования необходимы метеорологические данные между узлами измерительной сети и на территориях, не охваченных метеорологическими наблюдениями. В связи с этим часто прибегают к методам интерполяции наземных данных, измеренных на нерегулярно расположенных метеостанциях. К настоящему времени разработано большое количество таких методов, многие из которых реализованы в виде отдельных программных пакетов (таких как Surfer, ArcGIS, Generic Mapping Tools и др.). Однако при разработке сеточных архивов метеорологических данных, охватывающих длительный временной ряд, использование коммерческих программных пакетов затруднено отсутствием в них возможностей автоматизации расчетов и адаптации параметров аппроксимации к каждому временному слою исходных данных без участия пользователя программы. В связи с этим нами использован собственный программный код для интерполяции метеорологических данных. При этом предпочтение отдано методу кригинга, учитывающему статистические свойства метеорологических полей [19, 20].

Кrigинг – многошаговый процесс, состоящий из статистического анализа данных, оценки пространственной структуры поля восстанавливаемого параметра на основе значений его ковариаций в дискретных точках пространства и создание интерполирующей поверхности. Методы кrigинга дают наилучшую в статистическом смысле пространственную оценку данных с минимальной дисперсией ошибки. Важным свойством кrigинга является точное воспроизведение измерений в имеющихся точках и автоматическая оценка ошибки интерполяции в каждой точке.

При интерполяции данных методом кrigинга значение искомой переменной Z в некоторой точке пространства \mathbf{r} вычисляется как среднее взвешенное значение этой переменной в измерительных пунктах:

$$Z(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^N w_i Z(\mathbf{r}_i), \quad (1)$$

где i и w_i – номер и весовой коэффициент измерительного пункта соответственно; N – общее количество таких пунктов в заданной окрестности точки \mathbf{r} . Веса w_i определяются с учетом требований несмещенностии оценки переменной Z в точке \mathbf{r} (среднее значение ошибки оценивания равно нулю) и минимума дисперсии ошибки (наилучшая в статистическом смысле оценка). В итоге получается следующая система из $N + 1$ уравнений для нахождения весов w_i :

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n w_j \gamma(|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|) + \mu &= \gamma(|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|), \quad i = 1, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n w_j &= 1 \end{aligned}, \quad (2)$$

где $\gamma(|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|)$ – функция, характеризующая ковариацию переменных в этих точках (вариограмма), $(|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|$ – расстояние между точками \mathbf{r}_i и \mathbf{r}_j); μ – множитель Лагранжа.

Среднеквадратическая ошибка оценки значения переменной Z в точке \mathbf{r} задается выражением

$$\sigma_Z = \sqrt{\sum_{i=1}^N w_i \gamma(|\mathbf{r} - \mathbf{r}_i|) + \mu}. \quad (3)$$

Функция $\gamma(h)$, где h – произвольное расстояние между точками в исследуемой области, подбирается методом наименьших квадратов на основе эмпирической вариограммы, вычисляемой по формуле

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(\mathbf{r}_i) - Z(\mathbf{r}_j)]^2, \quad (4)$$

где \mathbf{r}_i и \mathbf{r}_j – координаты измерительных пунктов, удаленных друг от друга на расстояние от h до $h + \Delta h$; $N(h)$ – общее количество таких пунктов.

Для задания функции $\gamma(h)$ во всей анализируемой пространственной области эмпирические значения вариограммы аппроксимируются экспоненциальной моделью, предполагающей, что пространственная автокорреляция уменьшается экспоненциально с увеличением расстояния:

$$\gamma(h) = c_0 + c \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right], \quad (5)$$

где c_0 , c и a – параметры аппроксимации, получаемые методом наименьших квадратов.

В качестве исходных данных использовали массивы среднемесячных значений температуры воздуха и количества осадков с 1945 по 2017 г., измеренные на 54 метеорологических станциях Республики Беларусь и ближайших 20 станциях соседних государств. Интерполяцию метеорологических полей за каждый месяц проводили в автоматическом режиме с последующим визуальным контролем всех среднемесячных полей и, в случае необходимости, с ручной корректировкой параметров аппроксимации (максимального расстояния, на котором учитывается автокорреляция, и количества интервалов дискретизации парных расстояний между станциями, используемых в расчетах вариограммы).

Пример, иллюстрирующий интерполяцию метеорологических параметров на равномерную сетку географических координат с пространственным разрешением $0,05^\circ$, приведен на рис. 1. Видно, что эмпирическая вариограмма для количества осадков выходит на плато примерно с 200 км, т. е. при больших расстояниях между точками корреляция между осадками в них отсутствует. Вариограмма температуры

воздуха продолжает возрастать вплоть до максимального расстояния между пунктами наблюдений в метеорологической сети, что связано с наличием сильной широтной зональности в поле температуры в теплый период года.

Сопоставление измеренных значений метеопараметров с картами их интерполированных пространственных распределений (рис. 1 в, г) показывает достаточно высокую точность воспроизведения пространственных особенностей метеорологический полей на основе их интерполяции методом кригинга. Некоторые отличия между измеренными и интерполированными значениями метеопараметров связаны со сглаживающим действием оператора кригинга (см. формулу (1)) и неизбежно возникают при любом методе интерполяции. Количественная оценка точности интерполяции выполняется по формуле (3). Среднеквадратическая ошибка интерполяции поля температуры, приведенного на рис. 1, составляет $0,34^{\circ}\text{C}$. Аналогичная ошибка для поля осадков – 7,2 мм, или 14 % от их среднего по Беларуси уровня за рассматриваемый месяц. Ошибки реконструкции других временных слоев сеточного архива данных не сильно отличаются от указанных выше значений. В целом для всего архива, охватывающего период с 1945 по 2017 г., среднеквадратические ошибки оценивания температуры и осадков между узлами метеорологической сети составляют $\sim 0,3^{\circ}\text{C}$ и 20 %. Стоит заметить, что сравнительно высокая ошибка оценивания количества осадков связана с сильной неоднородностью его пространственного распределения и с недостаточно высокой плотностью метеорологической сети. Тем не менее, эта ошибка носит в значительной мере случайных характер и слабо отражается на результатах вычисления статистических характеристик временных рядов данных.

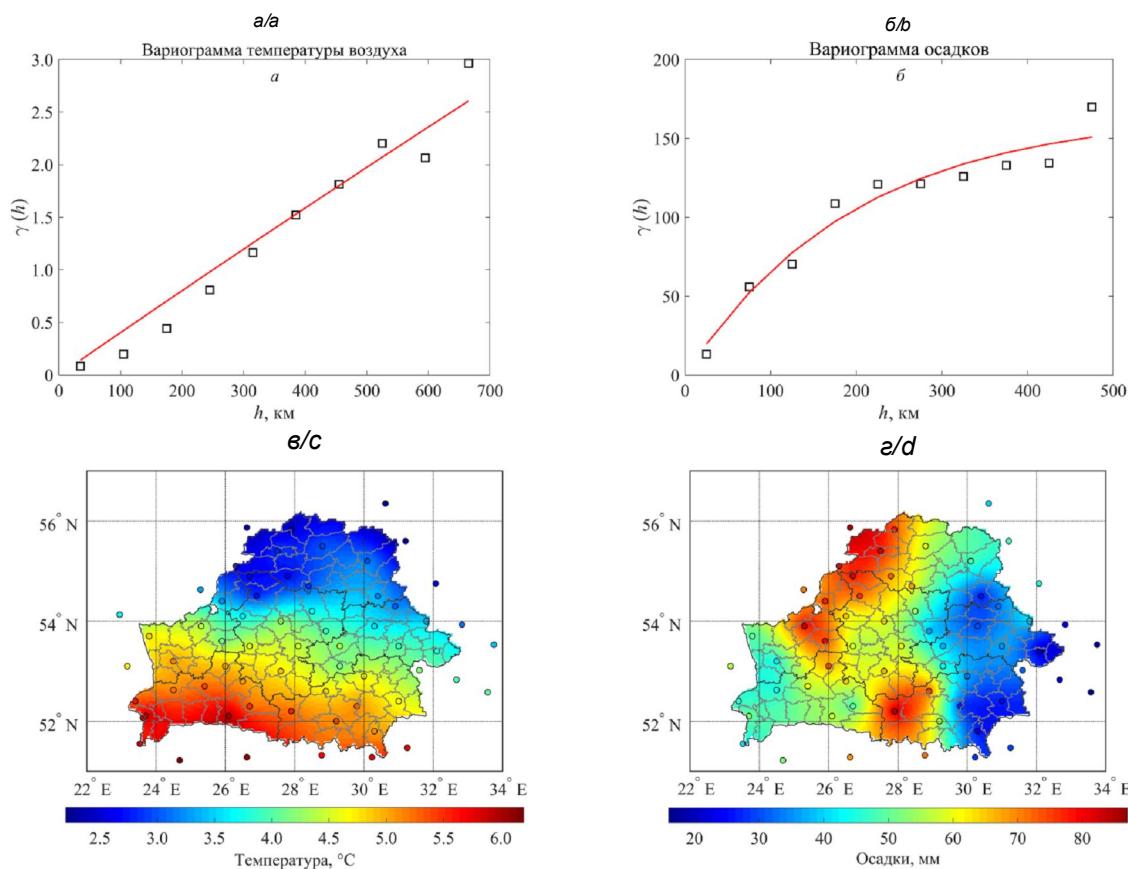


Рис. 1. Пример реконструкции пространственных полей температуры воздуха (а, в) и количества осадков (б, г) методом кригинга по данным метеонаблюдений в марте 2017 г.: а и б – эмпирические вариограммы (символы) и их аппроксимация экспоненциальной моделью (см. формулу (5); линии); в и г – карты пространственных распределений температуры воздуха и количества осадков на территории Беларуси (точками отмечены их значения, измеренные на сети метеостанций)

Fig. 1. Example of reconstruction of spatial fields of air temperature (a, c) and precipitation amount (b, d) by the kriging method from meteorological data in March 2017: a and b are empirical variograms (symbols) and their approximation by an exponential model (see formula (5); lines); c and d – maps of spatial distributions of air temperature and precipitation in the territory of Belarus (dots indicate their values measured on a network of weather stations)

Программа для визуализации и анализа метеорологических полей. Для работы с описанным выше архивом метеорологических данных разработана компьютерная программа в среде MALTAB с графическим интерфейсом. Основные рабочие окна программы изображены на рис. 2.

Программа позволяет строить карты пространственных распределений средних значений метеопараметров за любой период с 1945 по 2017 г. и за отдельные месяцы этого периода, сравнивать пространственные распределения метеопараметров для разных периодов, рассчитывать статистические характеристики метеопараметров и скорости их изменений на всей территории Беларуси, получать непрерывные временные ряды данных для областей, административный районов и отдельных пунктов с заданными координатами на территории Беларуси. Временные ряды данных выводятся в текстовом и графическом виде и сопровождаются статистическими характеристиками: максимум, минимум, среднее, среднеквадратическое отклонение, коэффициенты линейного тренда, коэффициент детерминации для тренда. Расчеты пространственных распределений показателей изменений метеопараметров сопровождаются оценками их статистической значимости по t-критерию Стьюдента с заданным уровнем доверительной вероятности. Регионы со статистически значимыми изменениями метеопараметров помечают на картах символами.

Пространственно-временные особенности изменений температуры воздуха и количества осадков. Для количественных оценок изменений глобального и регионального климата чаще всего используют два показателя: средняя аномалия метеопараметра за период глобального потепления и коэффициент линейного тренда временного ряда метеопараметра. Первый показатель представляет собой разницу между средними значениями метеопараметра за период потепления и его климатической нормой. Согласно рекомендациям ВМО для расчета климатических норм используют период 1961–1990 гг. Значения средних аномалий метеопараметров позволяют получить представление об изменениях климата на исследуемой территории, произошедших с начала глобального потепления. Второй показатель изменения климата – коэффициент линейного тренда – характеризует скорость изменения того или иного метеопараметра и удобен для составления прогнозов климата на ближайшие годы. Коэффициенты линейного тренда рассчитывают путем аппроксимации временного ряда данных прямой методом наименьших квадратов.

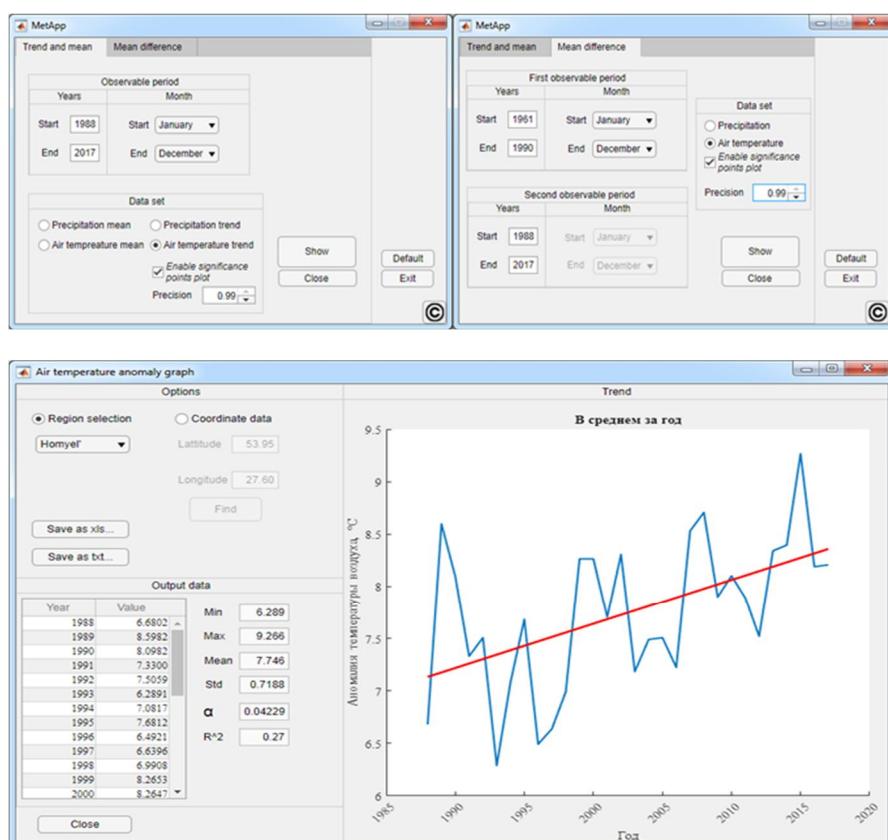


Рис. 2. Рабочие окна компьютерной программы для визуализации и статистического анализа пространственно-временных полей температуры воздуха и количества осадков на территории Беларуси

Fig. 2. Working windows of a computer program for visualization and statistical analysis of spatial-temporal fields of air temperature and precipitation in the territory of Belarus

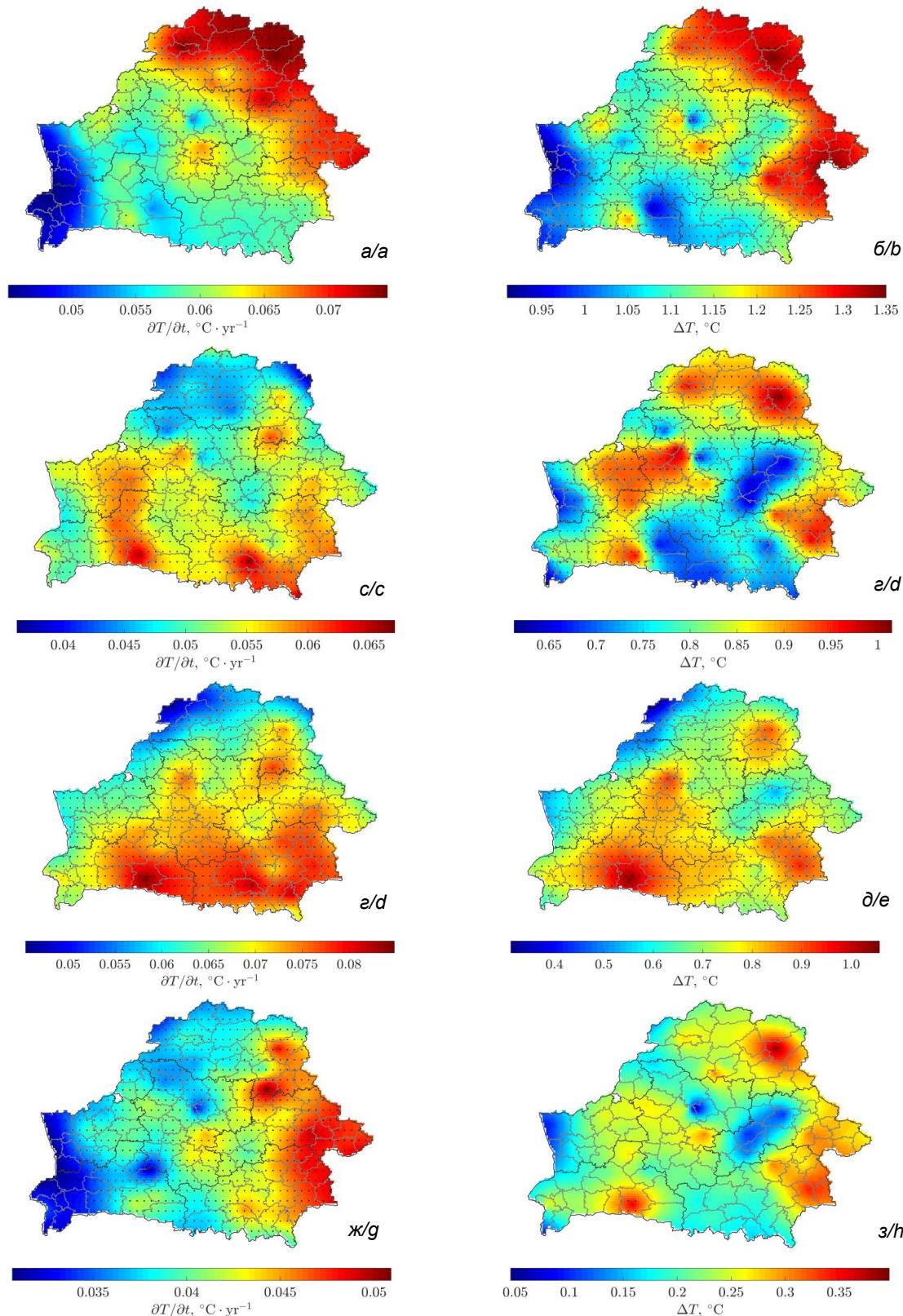


Рис. 3. Пространственные распределения коэффициентов линейных трендов (в, д, ж) и средних аномалий (г, е, з) температуры воздуха зимой (а, б), весной (в, г), летом (д, е) и осенью (ж, з) за период 1976–2017 гг.

Fig. 3. Spatial distributions of linear trend coefficients (c, e, g) and average anomalies (d, f, h) of air temperature in winter (a, b), spring (c, d), summer (e, f) and autumn (g, h) for the period 1976–2017

Ниже представлены карты пространственных распределений показателей изменения температуры воздуха и количества осадков с 1976 г. для четырех сезонов года (рис. 3 и 4), рассчитанные с использованием разработанного сеточного архива метеоданных. Пространственное разрешение карт $0,05^{\circ}$ по долготе и широте. Точками на картах обозначены участки территории с достоверными в статистическом смысле изменениями метеопараметров по t -критерию Стьюдента при уровне статистической значимости 95 %.

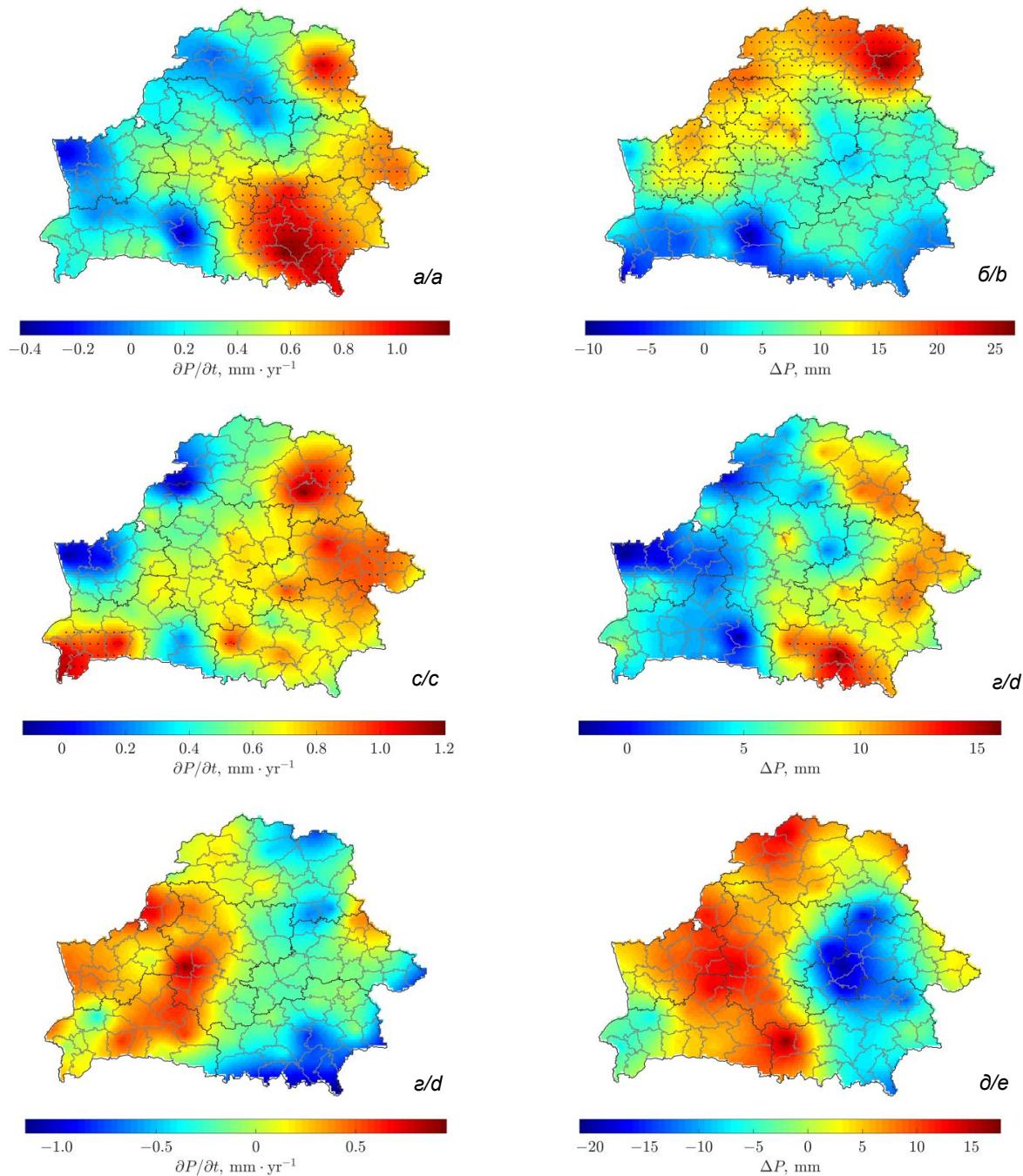
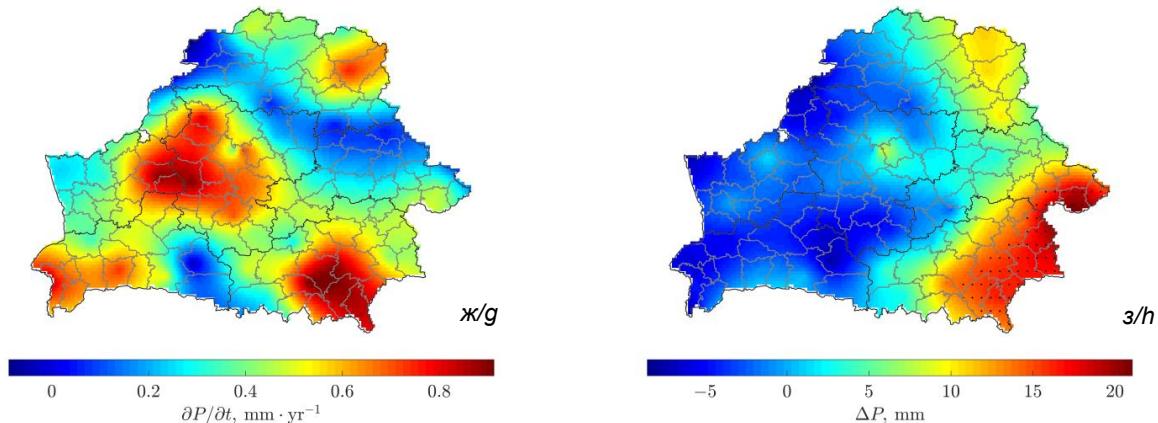


Рис. 4. Пространственные распределения коэффициентов линейных трендов (в, д, ж) и средних аномалий (г, е, з) количества осадков зимой (а, б), весной (в, г), летом (д, е) и осенью (ж, з) за период 1976–2017 гг.

Fig. 4. Spatial distributions of linear trend coefficients (c, e, g) and average anomalies (d, f, h) of precipitation in winter (a, b), spring (c, d), summer (e, f) and autumn (g, h) for the period 1976–2017



Окончание рис. 4.

End of fig. 4.

Стоит заметить, что пространственные особенности изменений температуры и количества осадков на территории Беларуси, полученные с использованием двух показателей, заметно различаются. Это связано с тем, что в расчетах тренда изменений метеопараметров используется только исследуемый временной период (1976–2017 гг.), тогда как средние аномалии метеопараметров за годы глобального потепления определяются в сопоставлении с их климатическими нормами за некоторый условно выбранный опорный период (1961–1990 гг.). Если опорный период содержит годы с экстремально низкими значениями какого-либо метеопараметра, то за счет низкой климатической нормы этого параметра его изменение в последующие годы может оказаться статистически значимым даже при отсутствии значимого роста его значений в эти годы. И, напротив, при изначально высокой норме метеопараметра для некоторого региона его значимое изменение в среднем за годы глобального потепления может не наблюдаться даже при высокой скорости этих изменений.

Отмеченное обстоятельство в особенности заметно на пространственных распределениях показателей изменений количества осадков (рис. 4). Так, например, на территории Гомельской области с 1961 по 1990 г. среднее количество осадков за зиму составило 113 мм. С 1976 г. количество зимних осадков здесь увеличивалось самыми большими темпами на всей территории Беларуси (0,81 мм/год) и к 2017 г. возросло в среднем на 33 мм. Однако по сравнению с опорным периодом увеличение среднего количества осадков за весь период 1976–2017 гг. составило всего лишь 3 мм и оказалось статистически незначимым. В связи с этим, анализируя приведенные выше карты с коэффициентом линейного тренда и средней аномалией в качестве отображаемых параметров, стоит иметь в виду, что они отражают разные свойства изменений климата: первые дают представление о скорости роста значений метеопараметров, вторые – о разнице средних значений метеопараметров между двумя периодами.

Прокомментируем некоторые характерные особенности изменений температуры и количества осадков на территории Беларуси за период современного глобального потепления, которые, несмотря на сравнительно небольшие размеры региона, имеют достаточно сложный характер.

Зимой температура воздуха растет наибольшими темпами на северо-востоке Беларуси, что согласуется с теорией парникового потепления климата. В Витебской области потепление зимой идет со скоростью 0,070 °C/год, в Могилевской области – 0,066 °C/год. Средние значения зимней температуры в этих областях Беларуси за период потепления превысили норму примерно на 1,2 °C. Средняя скорость потепления в Беларуси зимой составляет 0,061 °C/год.

Весной наибольшие темпы роста температуры воздуха наблюдаются в Гомельской (0,057 °C/год), Брестской (0,055 °C/год) и Гродненской (0,054 °C/год) областях, а летом – в Гомельской (0,076 °C/год) и в Брестской (0,073 °C/год) областях. Интенсивный рост температур воздуха в южных районах Беларуси в теплый период года затруднительно объяснить лишь эффектами парниковых газов. Помимо них на температурный режим земной поверхности и нижних слоев атмосферы в теплый период года могут оказывать существенное влияние факторы, ответственные за пропускание атмосферой солнечного излучения: аэрозоли, водяной пар, облачность, озон и др. В частности, к росту освещенности земной поверхности солнечным излучением может приводить снижение эмиссии в атмосферу антропогенных аэрозолей в результате сокращения промышленного производства и повышения экологического уровня автотранспорта.

В осенние месяцы температура воздуха на территории Беларуси растет медленнее чем в другие сезоны (0,04 °C/год). Наибольшие темпы потепления осенью отмечаются на востоке Беларуси. Это может быть связано с высокой тепловой инерцией океана, влияние которого на климат материка передается посредством воздушных масс и ослабевает по мере их перемещения вглубь континента.

Статистически значимый рост количества осадков на территории Беларуси отмечается только зимой и весной, причем в основном на востоке страны. Зимой количество осадков растет с наибольшей скоростью в Гомельской области (0,81 мм/год). Максимум коэффициента линейного тренда количества осадков в зимние месяцы приходится на Калинковичский район Гомельской области – 1,1 мм/год. Второй по величине максимум располагается в северо-восточных районах Витебской области – около 0,83 мм/год. Здесь же находится и максимум скорости роста количества осадков в весенние месяцы (около 1,1 мм/год). Кроме того, статистически значимый рост количества осадков в весенние месяцы наблюдается на северо-западе Брестской области – около 1,0 мм/год.

Статистически значимая аномалия количества осадков в зимние месяцы за период потепления проявляется на севере и северо-западе Беларуси с максимумом в Витебском районе около 22 мм. Весенние осадки наиболее значимо превышают норму на юго-западе Гомельской области с максимальной аномалией около 11 мм для Мозырского района. Количество осадков осенью достоверно превышает норму на юго-востоке Беларуси (средняя аномалия около 17 мм).

Заключение. Разработанный сеточный архив месячных данных по температуре воздуха и количеству осадков на территории Беларуси, а также компьютерная программа для работы с ним позволяют анализировать пространственно-временные особенности изменений регионального климата и получать непрерывные ряды метеорологических данных для любых пунктов в пределах Беларуси с 1945 г. Карты показателей изменения температуры воздуха и количества осадков за период современного глобального потепления, полученные на основе созданного архива, позволяют выделить регионы Беларуси со статистически значимыми изменениями тепло- и влагообеспеченности территории, а также оценить скорость этих изменений на ближайшие годы, что необходимо для планирования национальной стратегии по борьбе с последствиями глобального потепления и адаптации к ним различных отраслей экономики.

Список использованных источников

1. Логинов, В. Ф. Причины и следствия климатических изменений / В. Ф. Логинов. – Минск, 1992.
2. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск, 2008.
3. Логинов, В. Ф. Влияние Атлантического океана на величину трендов температуры воздуха в период современного потепления / В. Ф. Логинов // География и природные ресурсы. – 2010. – № 3. – С. 15–25.
4. Климат Беларуси / под. ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 1996.
5. Изменения климата Беларуси и их последствия / под общ. ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2003.
6. Мельник, В. И. Влияние изменения климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность основных сельскохозяйственных культур Беларуси : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / В. И. Мельник. – Минск, 2004.
7. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек. – Минск, 2006.
8. Давыденко, О. В. Агроклиматическое районирование Беларуси в условиях изменения климата / О. В. Давыденко // Вестник БГУ. – Сер. 2. – 2009. – № 1. – С. 106–109.
9. Давыденко, О. В. Динамика средних годовых температур воздуха и их внутригодовых вариаций на территории Беларуси / О. В. Давыденко // Вестник БГУ. – Сер. 2. – 2014. – № 2. – С. 89–95.
10. Ковриго, П. А. Изменения локального климата в условиях глобального потепления / П. А. Ковриго // Вестник БГУ. – Сер. 2. – № 2. – 2010. – С. 86–91.
11. Колядя, В. В. Оценка изменения агроклиматических ресурсов Беларуси / В. В. Колядя, Ю. А. Шубская // Природные ресурсы. – 2010. – № 1. – С. 108–117.
12. Колядя, В. В. Оценки влияния климатических трендов на динамику урожайности сельскохозяйственных культур / В. В. Колядя // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания. – Брест, 2014. – Ч. III. – С. 134–139.
13. Подгорная, Е. В. Особенности изменения климата Беларуси за последние десятилетия / Е. В. Подгорная, В. И. Мельник, Е. В. Комаровская // Труды Гидрометцентра РФ. – Вып. 358. – 2015. – С. 112–120.
14. Табальчук, Т. Г. Анализ пространственно-временных изменений температуры воздуха на территории Беларуси / Т. Г. Табальчук // Природопользование : сб. науч. тр. – 2016. – Вып. 30. – С. 24–32.
15. Логинов, В. Ф. Проблемы повышения адаптивной способности Республики Беларусь к изменениям климата / В. Ф. Логинов, В. В. Колядя // Природопользование : сб. науч. тр. – 2015. – Вып. 28. – С. 5–13.
16. Груза, Г. В. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата Российской Федерации: Температура воздуха / Г. В. Груза, Э. Я. Ранькова. – М., 2012.
17. Методика мониторинга климата на территории РФ: температура приземного воздуха, атмосферные осадки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://method.hydromet.ru/>. – Дата доступа: 21.07.2013.
18. Сводное ежегодное сообщение о состоянии и изменении климата на территориях государств – участников СНГ за 2017 год. – М., 2018.
19. Goovaerts, P. Geostatistics for Natural Resources Evaluation / P. Goovaerts. – New York : Oxford University Press, 1997. – 483 р.
20. Каневский, М. Ф. Элементарное введение в геостатистику / М. Ф. Каневский, В. В. Демьянов, Е. А. Савельева, С. Ю. Чернов, В. А. Тимонин // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 1999. – № 11.

References

1. Loginov V. F. *Prichiny i sledstviya klimaticeskikh izmenenij* [Reasons and aftermaths of climate change]. Minsk, 1992 (in Russian).
2. Loginov V. F. *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata: prichiny i sledstviya* [Global and regional climate changes: reasons and aftermaths]. Minsk, 2008 (in Russian).
3. Loginov, V. F. *Vliyanie Atlanticheskogo okeana na velichinu trendov temperatury vozduha v period sovremennoego potepleniya* [The influence of the Atlantic Ocean on the value of air temperature trends in the period of modern warming]. *Geografiya i prirodnye resursy = Geography and natural resources*, 2010, no 3, pp. 15–25 (in Russian).
4. *Klimat Belarusi* [Climate of Belarus]. Ed. V. F. Loginov. Minsk, 1996 (in Russian).
5. *Izmeneniya klimata Belarusi i ih posledstviya*. [The climate change of Belarus and its aftermaths]. Ed. V. F. Loginov. Minsk, 2003 (in Russian).
6. Mel'nik V. I. *Vliyanie izmeneniya klimata na agroklimaticheskie resursy i produktivnost' osnovnyh sel'skohozyajstvennyh kul'tur Belarusi* [The impact of climate change on agroclimatic resources and productivity of main agricultural crops of Belarus. Author's abstract diss. ... Cand. geogr. sciences]. Minsk, 2004.
7. Loginov V. F. Volchak A. A. *Vodnyj balans rechnyh vodosborov Belarusi* [Water balance of river watersheds of Belarus]. Minsk, 2006 (in Russian).
8. Davydenko O. V. *Agroklimaticeskoe rajonirovanie Belarusi v usloviyah izmeneniya klimata* [Agroclimatic zoning of Belarus in a changing climate]. *Vestnik BGU = Bulletin of the Belarusian University*, Ser. 2, 2009, no1, pp.106–109 (in Russian).
9. Davydenko O. V. *Dinamika srednih godovyh temperatur vozduha i ih vnutrigodovyh variacij na territorii Belarusi* [Dynamics of average annual air temperatures and their intra-annual variations in Belarus]. *Vestnik BGU = Bulletin of the Belarusian University*, Ser. 2, 2014, no 2, pp. 89–95 (in Russian).
10. Kovrigo P. A. *Izmeneniya lokal'nogo klimata v usloviyah global'nogo potepleniya* [Changes in the local climate under global warming]. *Vestnik BGU = Bulletin of the Belarusian University*, Ser. 2, 2010, no 2, pp. 86–91 (in Russian).
11. Kalyada V. V., Shubskaya Yu. A. *Ocenka izmeneniya agroklimaticeskikh resursov Belarusi* [The assessment of agroclimatic resources change in Belarus]. *Prirodnye resursy = Natural resources*, 2010, no 1, pp.108–117 (in Russian).
12. Kalyada V. V. *Ocenki vliyaniya klimaticeskikh trendov na dinamiku urozhajnosti sel'sko-hozyajstvennyh kul'tur* [Evaluation of the influence of climatic trends on the dynamics of the yield crops]. *Sb. nauchn. statej Mezhd. nauchn.-praktich. konf. «Aktual'nye nauchno-tehnicheskie i ekhologicheskie problemy sohraneniya sredy obitaniya»* [Collection of scientific articles Int. scientific-practical conf. "Actual scientific, technical and environmental problems of habitat conservation"]. Brest, 2014, Part III, pp. 134–139 (in Russian).
13. Podgornaya E. V., Mel'nik V. I., Komarovskaya E. V. *Osobennosti izmeneniya klimata Belarusi za poslednie desyatilietyia* [Features of climate change in Belarus over the past decade]. *Trudy Gidrometcentra RF = Proceedings of the Hydrometeorological Center of the Russian Federation*, 2015, pp. 112–120 (in Russian).
14. Tabal'chuk T .G. *Analiz prostranstvenno-vremennyh izmenenij temperatury vozduha na territorii Belarusi* [The analysis of spatial and temporal changes of air temperature on the territory of Belarus]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2016, vol. 30, pp. 24–32 (in Russian).
15. Loginov V. F., Kolyada V. V. *Problemy povysheniya adaptivnoj sposobnosti Respubliki Belarus' k izmeneniyam klimata* [Problems of increasing of adaptive capacity of the Republic of Belarus to climate change]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, Minsk, 2015, Vol. 28, pp. 5–13 (in Russian).
16. Gruza G. V., Ran'kova Eh. Ya. *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossijskoj Federacii: Temperatura vozduha* [Observed and expected climate changes over Russia: Surface air temperature]. Moscow, 2012 (in Russian).
17. Metodika monitoringa klimata na territorii RF: temperatura prizemnogo vozduha, atmosfernye osadki [Methods of climate monitoring in the territory of the Russian Federation: surface air temperature, atmospheric precipitation]. Available at : <http://method.hydromet.ru/>. (accessed 21 July 2013) (in Russian).
18. Svodnoe ezhegodnoe soobshchenie o sostoyanii i izmenenii klimata na territoriyah gosudarstv-uchastnikov SNG za 2017 god [Consolidated annual report on the state and climate change in the territories of the CIS member states for 2017]. Moscow, 2018 (in Russian).
19. Goovaerts P. Geostatistics for Natural Resources Evaluation. New York, Oxford University Press, 1997, 483 p.
20. Kanevskij M. F., Dem'yanov V. V., Savel'eva E. A., Chernov S. Yu., Timonin V.A. *Ehlementarnoe vvedenie v geostatistiku* [Elementary introduction to geostatistics]. Problemy okruzhayushchej sredy i prirodnyh resursov [Problems of the Environment and Natural Resources]. Moscow, VINITI Publ., no. 11, 1999 (in Russian).

Информация об авторах

Лысенко Сергей Александрович – д-р физ.-мат. наук, доцент, зам. директора по науч. работе, зав. Центром климатических исследований, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: lysenkofe@gmail.com

Чернышев Виталий Дмитриевич – мл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: chernush.vitaly@yandex.by

Коляда Валерий Васильевич – науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: valery_v_kalyada@tut.by

Information about the authors

Sergey A. Lysenko – D.Sc. (Physical and Mathematical), Assistant Professor, Deputy Director, Head of Center for Climate Research, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: lysenkofe@gmail.com

Vitaly D. Chernyshev – Junior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: chernush.vitaly@yandex.by

Valery V. Kalyada – Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: valery_v_kalyada@tut.by

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ФОРМАЛЬДЕГИДА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ

Ю. Г. Кокош, С. В. Какарека

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Проведено исследование сезонной динамики содержания формальдегида в 15 городах Беларуси и зависимости среднемесячных концентраций формальдегида от метеопараметров за период с 1991 по 2012 г. Выявлено достоверное увеличение концентраций соединения в летние месяцы и снижение в зимние по отношению к среднегодовому содержанию. Установлен рост значений отношения средних концентраций формальдегида в летние месяцы по отношению к зимним ($R^2 = 0,69$) во времени. Исследование зависимостей среднемесячных концентраций формальдегида от метеопараметров за указанный период показало, что наиболее тесная связь концентраций формальдегида наблюдается с температурой воздуха ($R = 0,35$), причем отмечен рост тесноты связи со временем. Получены также достоверные обратные связи концентраций формальдегида со скоростью ветра ($R = -0,21$), относительной влажностью воздуха ($R = -0,19$) и общей облачностью ($R = -0,19$).

Ключевые слова: формальдегид; концентрации; атмосферный воздух; сезонная динамика; метеорологические условия.

Для цитирования. Кокош Ю. Г., Какарека С. В. Сезонная динамика содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 28–36.

SEASONAL DYNAMICS OF FORMALDEHYDE CONCENTRATIONS IN ATMOSPHERIC AIR OF BELARUSIAN CITIES

Yu. G. Kokosh, S. V. Kakareka

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

Abstract. The study of the seasonal dynamics of formaldehyde concentrations was carried out in 15 cities of Belarus and dependences of the average monthly formaldehyde concentrations from meteorological parameters for the period from 1991 to 2012. Significant increase of the concentrations of this compound in the summer months and decrease in the winter months in relation to the average annual concentrations was detected. An increase in the ratio of average formaldehyde concentrations in the summer months relative to the winter months ($R^2 = 0,69$) over time was established. A study of the dependences of the average monthly formaldehyde concentrations from meteorological parameters for the period from 1991 to 2012 showed that the closest relationship between the formaldehyde concentrations is observed with air temperature ($R = 0,35$). The growth of the strength of this relationship with time is noted. Reliable feedbacks of formaldehyde concentrations with wind speed ($R = -0,21$), relative humidity ($R = -0,19$) and total cloudiness ($R = -0,19$) were also obtained.

Key words: formaldehyde; concentrations; atmospheric air; seasonal dynamics; meteorological conditions.

For citation. Kokosh Yu. G, Kakareka S. V. Seasonal dynamics of formaldehyde concentrations in atmospheric air of Belarusian cities. *Nature Management*. 2019, no. 1, pp. 28–36.

Введение. Формальдегид (HCHO) является ключевым веществом в химии атмосферы, предшественником озона (O_3) и важным индикатором фотохимической активности атмосферы. Он также известен как канцероген для человека и животных. В соответствии с нормативными документами, регламентирующими содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест Республики Беларусь, формальдегид классифицируется как токсичное и опасное вещество 2-го класса опасности [1].

Первичные источники поступления формальдегида в атмосферу многообразны. Их можно разделить на антропогенные и природные. Основными антропогенными источниками являются процессы производства и промышленного использования формальдегида, стационарные топливосжигающие установки, передвижные источники, формальдегидсодержащие материалы, городские пожары, полигоны коммунальных и производственных отходов [2–4]. Основными природными источниками поступления формальдегида в атмосферный воздух служат лесные пожары, выделения животных и растительности [2].

В то же время наибольшая доля формальдегида в атмосферном воздухе образуется за счет фотохимических реакций и процессов трансформации многих типов органических соединений, имеющих в основном естественное происхождение, таких как метан и изопрен, и загрязняющих веществ от передвижных и стационарных источников, таких как алканы, алкены, альдегиды и спирты [2, 3]. Одновременно с процессом фотоокисления активно идет процесс распада формальдегида (фотодиссоциация) [4].

Содержание формальдегида в воздухе отдаленных от источников его выделения районов формируется природными источниками, причем преобладают вторичные [3]. В атмосферном воздухе незаселенных территорий на суше и над океанами вдали от побережий содержание формальдегида варьирует от ниже предела обнаружения до $4 \text{ мкг}/\text{м}^3$.

В отличие от фоновых и сельских районов город характеризуется наличием разнообразных источников загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом. Концентрации формальдегида в городских регионах сильно отличаются. В северной и центральной Европе и в США типичные средние значения содержания формальдегида в городском воздухе составляют от 6,0 до $18,5 \text{ мкг}/\text{м}^3$. Более высокие средние значения содержания формальдегида получены для мегаполисов Азии и Южной Америки. Согласно литературным данным, высокие значения концентраций формальдегида в мегаполисах объясняются сочетанием интенсивного солнечного излучения с высокими концентрациями реагирующих органических соединений, таких как алкены, что приводит к образованию фотохимического смога, способствующего формированию высоких концентраций формальдегида. В городах с высоким фотохимическим загрязнением средние концентрации формальдегида могут составлять от 35 до $37 \text{ мкг}/\text{м}^3$. В большинстве исследований указывается, что основной вклад в концентрации формальдегида в городах привносит его вторичное образование под действием химических реакций, происходящих с участием многих других загрязняющих веществ, находящихся в загрязненном воздухе [3–5].

На территории Беларуси регулярные наблюдения за содержанием формальдегида в атмосферном воздухе городов осуществляются в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды (НСМОС) с 1991 г. Начиная с 2013 г., наблюдения за содержанием формальдегида на станциях мониторинга проводятся только в летний сезон (июнь–август), поэтому в работе для оценки сезонных изменений содержания формальдегида в атмосферном воздухе анализируются данные за период с 1991 по 2012 г. Проведенный анализ многолетней динамики содержания формальдегида в атмосферном воздухе в 15 городах Беларуси выявил ряд особенностей. Среднегодовое содержание формальдегида в атмосферном воздухе городов в период с 1991 по 2012 г. колебалось в пределах $6,1$ – $9,6 \text{ мкг}/\text{м}^3$; выявлена квазицикличность колебаний с периодом в 5–10 лет. В 2008–2012 гг. среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе составило около $8 \text{ мкг}/\text{м}^3$. Максимальные разовые концентрации формальдегида достигали $307 \text{ мкг}/\text{м}^3$ (более 10 ПДК_{м.р.}) [6, 7].

Формальдегид, попав в атмосферный воздух, находится под действием различных метеорологических условий, определяющих его концентрации. Он может накапливаться при слабой скорости ветра и штиле, застоях и приземных инверсиях до высоких концентраций.

Материалы и методы исследования. Для изучения внутригодовых изменений концентрации формальдегида в атмосферном воздухе и зависимостей концентраций формальдегида от метеорологических условий были использованы ряды среднемесячных значений концентраций формальдегида и метеоусловий в 15 городах Беларуси в период с 1991 по 2012 г. Для анализа выбраны среднемесячные значения температуры воздуха, относительной влажности, общей облачности, атмосферного давления, скорости ветра и месячной суммы осадков.

Для обработки данных были применены статистические методы, в частности корреляционный анализ и тест Манна–Кендалла (программа MAKSESENS) [8].

Результаты и их обсуждение. Сезонная динамика содержания формальдегида в атмосферном воздухе. Проведенный анализ показал, что по убыванию значений наиболее высокие средние концентрации формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси получены в летние месяцы ($9,9 \text{ мкг}/\text{м}^3$); значения в осенний и весенний периоды практически совпали и составили $7,9$ и $7,7 \text{ мкг}/\text{м}^3$ соответственно, зимой зафиксированы наименьшие значения ($6,6 \text{ мкг}/\text{м}^3$) (табл. 1). Четко выраженный летний максимум в городах Беларуси можно объяснить активизацией в летнее время фотохимических реакций, приводящих к образованию формальдегида. К этому следует добавить, что в связи с увеличением в летнее время интенсивности транспортного потока, в городскую атмосферу выбрасывается большое количество углеводородов, которые способствуют усилению реакций. В зимний период производство формальдегида в результате фотохимических реакций снижается.

В целом, полученные нами оценки сезонного содержания формальдегида в атмосферном воздухе согласуются с результатами других исследований. Сравнение концентраций формальдегида между данным исследованием и другими работами показано в табл. 1. Единицы были преобразованы из ppb (частей на миллиард) в $\text{мкг}/\text{м}^3$.

Таблица 1. Сравнение средних концентраций формальдегида по сезонам в городах Беларуси и других стран, мкг/м³**Table 1. Comparison of seasonal formaldehyde mean concentrations in Belarusian and other cities, mkg/m³**

Город, страна, место исследования	Средние концентрации формальдегида по сезонам года, мкг/м ³				Отношение средних летних концентраций формальдегида к зимним
	весна	лето	осень	зима	
Беларусь	7,71	9,85	7,87	6,62	1,49
Пекин, Китай [9]	–	25,4	–	4,7	5,40
Сиань, Китай [9]	–	9,9	–	6,5	1,52
Шанхай, Китай [9]	–	16,3	–	9,2	1,77
Гонконг, Китай [10]	4,0	10,8	4,0	3,6	3,00
Гуанчжоу, Китай [11]	5,88	13,75	4,75	5,63	2,40
Монтелибретти, Италия [12]	–	8,75	–	1,36	6,43
Сиань, Китай [13]	–	7,92	–	5,57	1,47
Москва, Россия [13]	–	22,0	–	10,7	2,06
Саратов, Россия [14]	18,0	23,0	19,0	15,0	1,53
Орлеан, Франция [15]	2,70	3,85	2,85	1,83	2,10
Сан-Паулу, Бразилия [17]	4,38	5,38	4,38	5,38	1,00

Анализ литературных источников показал, что практически во всех исследованиях сезонной динамики формальдегида в городах наблюдается максимум в теплый период года, что подтверждает влияние метеорологических условий и наличия других загрязнителей (углеводородов) на формирование концентраций формальдегида. Наиболее высокие средние концентрации формальдегида в атмосферном воздухе в летние месяцы зафиксированы в городах Китая и России [9–14]. Значения средних концентраций НСНО в городском воздухе в летний период варьируют от 3,9 до 25,4 мкг/м³ со средним значением 13,1 мкг/м³, в зимний – от 1,4 до 15,0 мкг/м³ со средним значением 6,3 мкг/м³. Так, в работе [9] показано, что концентрации формальдегида в городской местности в Сиане (Китай) составляли 9,9 и 6,5 мкг/м³ соответственно летом и зимой. Значения очень близки к полученным в нашем исследовании средним значениям 9,9 и 6,6 мкг/м³ в летний и зимний период соответственно.

Соотношение среднемноголетних концентраций формальдегида в летний период по отношению к зимнему периоду в городах Беларуси составило 1,15–2,30 со средним значением 1,49. В наибольшей степени летний максимум выражен в г. Светлогорске (соотношение составило 2,30), г. Гродно (1,88), г. Новополоцке (1,99), г. Минске (1,66) и г. Бобруйске (1,64). В наименьшей степени сезонные различия характерны для таких городов, как Брест (1,15), Пинск (1,17), Мозырь (1,29).

Согласно литературным данным, отношение средних летних концентраций формальдегида к зимним варьирует в широких пределах: от 1,00 до 6,43 со средним значением 2,1, – что, в целом, советует полученным нами соотношениям для городов Беларуси.

В период летнего максимума среднемесечные концентрации формальдегида в городах находились в пределах 1,7–18,0 мкг/м³. В зимнее время в этих городах концентрации колебались в пределах 1,1–9,5 мкг/м³. Такие изменения наблюдались практически ежегодно. Также следует отметить, что даже в городах с низкими уровнями загрязнения воздуха формальдегидом (г. Новогрудок) прослеживается летний максимум [5, 6].

Исследования концентраций формальдегида в разный период года в зонах, удаленных от источников его выбросов и прекурсоров (фоновые территории), также выявило его зависимость от сезона (табл. 2). Среднегодовая концентрация формальдегида в атмосферном воздухе, замеренная на станциях Программы ЕМЕП, за период с 1999 по 2010 г. составила 1,2 мкг/м³. Среднее соотношение летних и зимних концентраций формальдегида в атмосферном воздухе составило 2,0 с вариабельностью значений по отдельным станциям от 1,39 до 3,08.

Рост средних концентраций формальдегида в последние годы рассматриваемого периода в основном обусловлен ростом их значений в теплый сезон, в особенности в июле и августе. В период 2006–2012 гг. различия между сезонами отмечаются более четко, чем в 1991–1996 гг. за счет роста летних концентраций по отношению к зимним (рис. 1).

Для подтверждения тенденции к росту концентраций формальдегида в летний период проведен статистический анализ динамики концентраций формальдегида, осредненных по сезонам.

Обнаружены статистически достоверные тенденции к увеличению средних концентраций формальдегида в атмосферном воздухе городов в летние месяцы ($R^2 = 0,55$, $\alpha = 0,01$) и снижению ($R^2 = 0,65$, $\alpha = 0,01$) – в зимние месяцы. Также выявлен рост значений отношения средних концентраций формальдегида в летние месяцы к зимним ($R^2 = 0,69$, $\alpha = 0,001$). Если в 1991 г. отношение средних летних концентраций к зимним составляло 1,2, то в 2012 г. оно увеличилось до 2,0 (рис. 2). Достоверность полученных результатов подтверждена при помощи программы MAKESENS [8].

Таблица 2. Сравнение средних концентраций формальдегида по сезонам в атмосферном воздухе фоновых территорий в Беларуси и других регионах, мкг/м³

Table 2. Comparison of seasonal formaldehyde mean concentrations in atmospheric air of background areas in Belarus and other regions, mkg/m³

Город, страна, место исследования	Средние концентрации формальдегида по сезонам года, мкг/м ³				Отношение средних летних концентраций формальдегида к зимним
	весна	лето	осень	зима	
Беларусь, фоновые территории [6]	3,00	3,90	1,90	—	—
Станции ЕМЕП [4, 5]	1,13	1,72	1,08	0,85	2,02
Станция исследования окружающей среды в северных Альпах [16]	0,65	1,21	0,53	0,43	2,81
Высокогорный участок Юнгфрауайох, Швейцария [16]	0,49	0,62	0,37	0,45	1,38
Гонконг, территории, удаленные от источников выбросов [10]	1,98	2,64	2,63	2,35	1,12

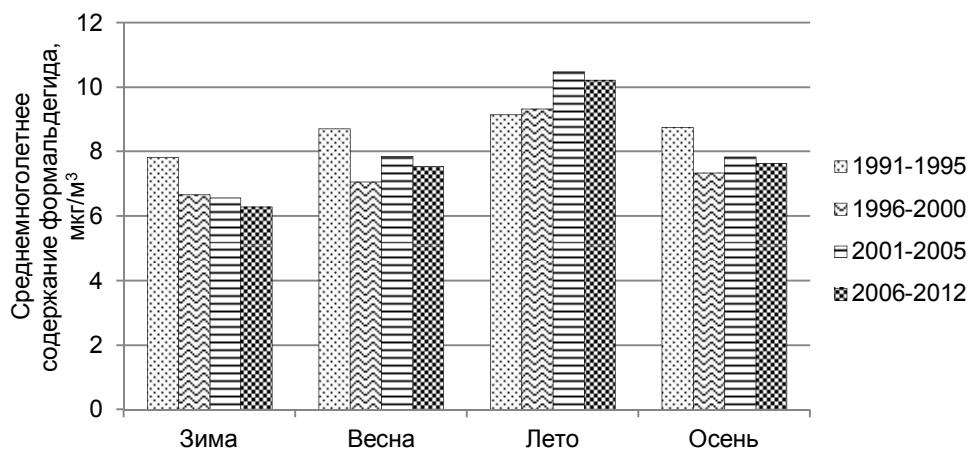


Рис. 1. Среднемноголетнее содержание формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси по сезонам года

Fig. 1. Average perennial formaldehyde concentrations in the atmospheric air of the cities of Belarus according to the seasons of the year

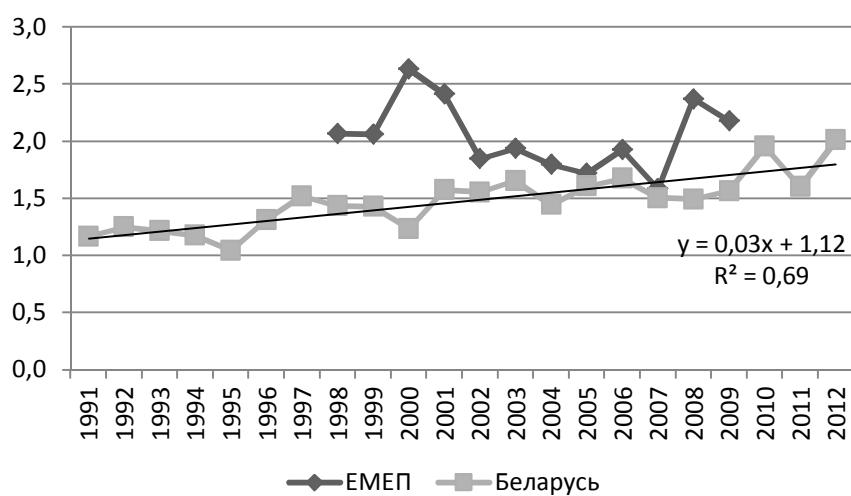


Рис. 2. Многолетняя динамика соотношений средних концентраций формальдегида в летние и зимние месяцы в атмосферном воздухе в городах Беларуси и на станциях программы ЕМЕП

Fig. 2 The long-term dynamics of the ratios of average formaldehyde concentrations in the summer and winter months in the atmospheric air in the cities of Belarus and at the EMEP program stations

В то же время анализ динамики осредненного соотношения средних концентраций формальдегида в летние и месяцы по данным станций программы ЕМЕП не выявил закономерностей к увеличению этого показателя во времени. Соотношение в разные годы составило от 1,6 до 2,6 (рис. 2).

Связь содержания формальдегида в атмосферном воздухе с метеорологическими условиями. Уровень загрязнения формируется в результате непрерывно протекающих в атмосфере фотохимических реакций окисления и восстановления, сопровождающихся образованием новых веществ. Рассеяние и накопление формальдегида в атмосфере в значительной степени определяются метеорологическими условиями [3].

Проведенное исследование за 1991–2012 гг. показало, что наиболее тесная связь концентраций формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси наблюдается с температурой ($R = 0,37$, $m_R = 0,02$, $\alpha = 0,05$) (табл. 3). Получены также достоверные обратные связи (при $\alpha = 0,05$) концентраций формальдегида со скоростью ветра ($R = -0,21$, $m_R = 0,02$), относительной влажностью воздуха $R = -0,19$, $m_R = 0,02$ и общей облачностью $R = -0,19$, $m_R = 0,02$). Достоверных зависимостей средних концентраций формальдегида от среднего атмосферного давления и суммы осадков не обнаружено.

Анализ данных наблюдений показал, что связь концентраций формальдегида с температурой довольно тесная: для большинства городов Беларуси коэффициент корреляции колебался в пределах 0,3–0,6 и только для городов Бреста, Могилева и Пинска составлял меньше 0,3 (0,19, 0,23 и 0,11 соответственно). Для всех коэффициентов рассчитана ошибка коэффициента корреляции и оценена достоверность связи при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Ошибка коэффициентов корреляции составила 0,05–0,08. Установлено, что коэффициенты достоверны для всех городов, за исключением г. Пинска (табл. 3).

За период с 1991 по 2012 г. достоверные линейные зависимости (при $\alpha = 0,05$) среднемесячного содержания формальдегида от относительной влажности воздуха получены для 10 из 13 городов, от средней скорости ветра и общей облачности – для 8 из 13 городов (табл. 3).

Проведенное исследование показало, что в пяти городах Беларуси (города Гродно, Гомель, Минск, Новополоцк, Новогрудок) имеется достоверная зависимость среднего содержания формальдегида в атмосферном воздухе от четырех метеопараметров: средней температуры атмосферного воздуха ($R = 0,31 \dots 0,51$), общей облачности ($R = -0,17 \dots -0,35$), относительной влажности воздуха ($R = -0,20 \dots -0,34$) и скорости ветра ($R = -0,23 \dots -0,33$). В городах Полоцке, Орше, Могилеве, Речице и Бобруйске на содержание формальдегида в атмосферном воздухе оказывают влияние три из четырех метеопараметров, в городах Витебске и Бресте – два из четырех.

Таблица 3. Значения коэффициентов корреляции между среднемесячной концентрацией формальдегида и среднемесячной температурой, относительной влажностью, средней скоростью ветра и общей облачностью для городов Беларуси в период с 1991 до 2012 г.

Table 3. The values of the correlation coefficients between the average monthly concentration of formaldehyde and the average monthly temperature, relative humidity, average wind speed and total cloudiness for cities of Belarus in the period 1991–2012

Город	Количество значений	Коэффициент корреляции (R)			
		среднемесячная температура	средняя относительная влажность воздуха	средняя скорость ветра	общая облачность
Брест	264	0,40	0,06*	-0,09*	-0,08*
Бобруйск	264	0,19	-0,21	-0,04*	-0,30
Витебск	264	0,27	-0,11*	-0,28	-0,13*
Гомель	264	0,39	-0,23	-0,33	-0,28
Гродно	199	0,51	-0,34	-0,24	-0,30
Минск	264	0,48	-0,32	-0,38	-0,35
Могилев	228	0,23	-0,15	-0,08*	-0,17
Мозырь	192	0,31	-0,21	-0,23	-0,11*
Новогрудок	131	0,40	-0,20	-0,26	-0,23
Новополоцк	203	0,49	-0,34	-0,30	-0,35
Орша	264	0,30	-0,19	-0,32	-0,05*
Пинск	227	0,11*	-0,07*	-0,03*	0,12*
Полоцк	239	0,49	-0,24	-0,11*	-0,25
Речица	240	0,41	н. д.**	н. д.**	н. д.**
Светлогорск	240	0,60	н. д.**	н. д.**	н. д.**
Среднее	3483	0,37	-0,19	-0,21	-0,19

* Значение не достоверно при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

** н. д. – нет данных.

В г. Пинске не выявлено достоверных связей ни с одним из рассмотренных метеопараметров. По-видимому, на уровне содержания формальдегида в атмосферном воздухе г. Пинска сильнее влияют другие факторы, в частности антропогенные источники выбросов.

При анализе связей среднемесячных концентраций формальдегида от температуры воздуха выявлено увеличение тесноты связи со временем. Средний темп увеличения тесноты связи за 5 лет составлял 20–40 % (рис. 3).

Анализ данных за разные отрезки времени наблюдений показал, что зависимость концентрации формальдегида от температуры для всех исследованных городов Беларуси в 2001–2012 гг. возросла по сравнению с 1991–2000 гг. (за исключением Минска) (табл. 4). Среднее значение коэффициента корреляции между концентрацией формальдегида и температурой воздуха для городов Беларуси за второй отрезок времени увеличилось на 44 %.

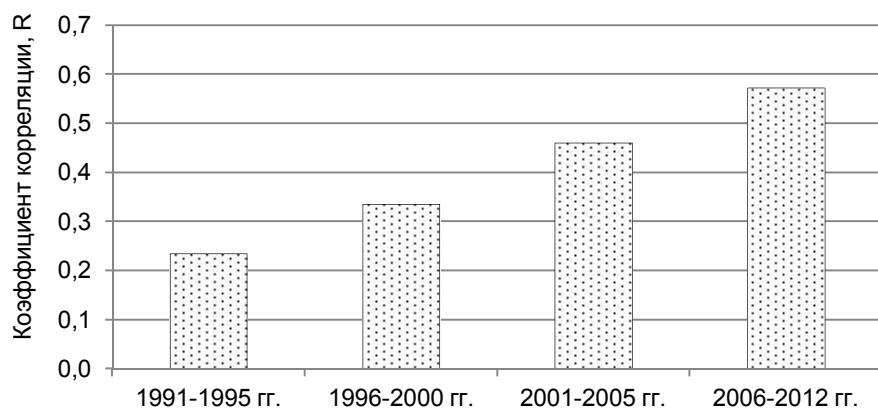


Рис. 3. Связь среднемесячных концентраций формальдегида и среднемесячных температур воздуха в городах Беларуси за период с 1991 по 2012 г.

Fig. 3. Relationship of monthly average concentrations of formaldehyde and average monthly air temperatures in cities of Belarus for the period from 1991 to 2012

Таблица 4. Значения коэффициентов корреляции между среднемесячной концентрацией формальдегида и среднемесячной температурой воздуха для городов Беларуси за периоды 1991–2000 гг. и 2001–2012 гг.

Table 4. The values of the correlation coefficients between the average monthly concentration of formaldehyde and the average monthly air temperature for cities of Belarus for the periods of 1991–2000 and 2001–2012

Город	1991–2000 гг.			2001–2012 гг.		
	Коэффициент корреляции, R	Ошибкa коэффициента корреляции, m _R	Достоверность коэффициента при α = 0,05	Коэффициент корреляции, R	Ошибкa коэффициента корреляции, m _R	Достоверность коэффициента при α = 0,05
Брест	0,26	0,09	Да	0,59	0,07	Да
Бобруйск	0,04	0,09	Нет	0,41	0,08	Да
Витебск	0,08	0,09	Нет	0,54	0,07	Да
Гомель	0,05	0,09	Нет	0,57	0,07	Да
Гродно	0,44	0,12	Да	0,61	0,07	Да
Минск	0,56	0,08	Да	0,45	0,08	Да
Могилев	0,13	0,11	Нет	0,53	0,07	Да
Мозырь	0,20	0,14	Нет	0,36	0,08	Да
Новогрудок	–	–	–	0,40	0,08	Да
Новополоцк	0,48	0,12	Да	0,54	0,07	Да
Орша	0,24	0,09	Да	0,49	0,07	Да
Пинск	0,04	0,11	Нет	0,19	0,08	Да
Полоцк	0,48	0,09	Да	0,54	0,07	Да
Речица	0,33	0,09	Да	0,41	0,08	Да
Светлогорск	0,52	0,08	Да	0,60	0,07	Да
Среднее	0,27	0,03	Да	0,48	0,02	Да

За первый отрезок времени (1991–2000 гг.) достоверные зависимости среднемесячных концентраций формальдегида от среднемесячных температур получены только для 8 городов из 15 проанализированных. За второй отрезок времени все зависимости являются достоверными (табл. 4).

Примеры зависимости концентрации формальдегида в атмосферном воздухе от температуры за периоды с 1991 по 2000 г. и с 2001 по 2012 г., полученные по данным наблюдений в г. Гродно, приведены на рис. 4.

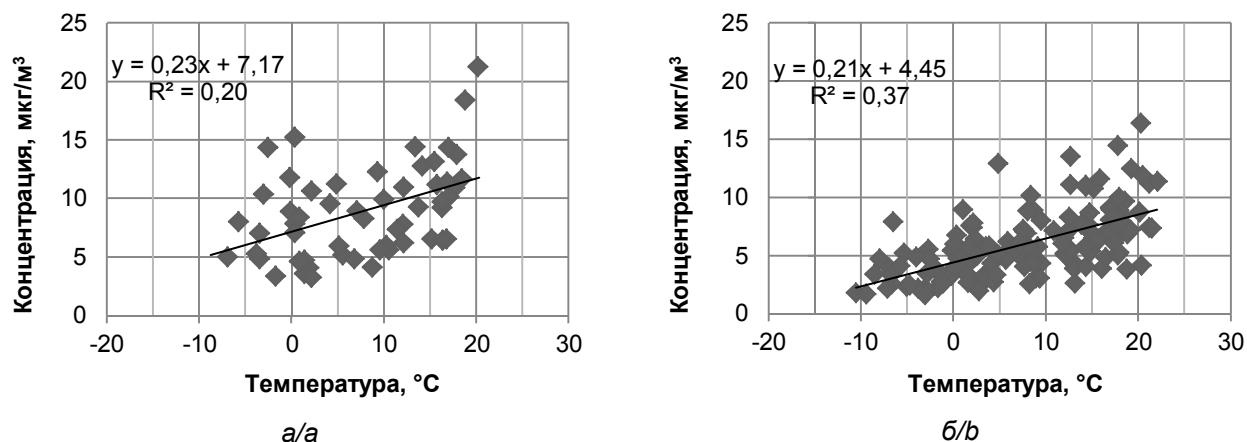


Рис. 4. Связь концентраций формальдегида в атмосферном воздухе г. Гродно и среднемесячной температуры воздуха за период с 1991 по 2000 г. (а) т с 2001 по 2012 г. (б)

Fig. 4. Relationship of formaldehyde concentrations in the atmospheric air of Grodno and the average monthly temperature of air for the period from 1991 to 2000 (a) and from 2001 to 2012 (b)

Заключение. Исследование сезонной динамики содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларусь за период с 1991 по 2012 г. выявило значимое увеличение концентраций соединения в летние месяцы ($R^2 = 0,55$) и снижение ($R^2 = 0,65$) в зимние по отношению к среднегодовому содержанию. Также установлен рост значений соотношения средних концентраций формальдегида в летние месяцы по отношению к зимним ($R^2 = 0,69$) во времени. В наибольшей степени летний максимум выражен в городах Светлогорске, Минске, Гродно, Бобруйске и Новополоцке. В наименьшей степени сезонные различия характерны для городов Бреста, Пинска и Мозыря.

Проведенное исследование зависимостей среднемесячных концентраций формальдегида от метеопараметров показало, что наиболее тесная связь концентраций формальдегида наблюдается с температурой воздуха ($R = 0,35$), причем отмечен рост тесноты связи со временем. Получены также достоверные обратные связи концентраций формальдегида со скоростью ветра ($R = -0,21$), относительной влажностью воздуха ($R = -0,19$) и общей облачностью ($R = -0,19$).

За период с 1991 по 2012 г. достоверные линейные зависимости среднемесячного содержания формальдегида от средней температуры получены для 14 из 15 городов Беларусь, от относительной влажности воздуха – для 10 из 13 городов, от средней скорости ветра – для 8 из 13, от общей облачности – для 7 из 13 городов.

Анализ данных НСМОС показал, что в наибольшей степени среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларусь зависит от средней температуры атмосферного воздуха. Причем выявлено увеличение тесноты связи среднемесячных концентраций формальдегида с температурой атмосферного воздуха. В 2001–2012 гг. теснота связи возросла на 44 % по сравнению с 1991–2000 гг.

Наличие тесной связи между температурой воздуха и концентрацией формальдегида указывает на образование формальдегида в результате фотохимических реакций, происходящих в загрязненной атмосфере городов. Это объясняет отсутствие или слабую зависимость значений концентраций формальдегида в атмосферном воздухе от выбросов первичных источников формальдегида. Для уменьшения уровня загрязнения воздуха этим веществом необходимо общее снижение выбросов прекурсоров формальдегида от передвижных и стационарных источников.

Благодарности

Авторы выражают искреннюю признательность ГУ «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за предоставление информации мониторинга воздушной среды городов в рамках НСМОС.

Список использованных источников

1. Нормативы предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и ориентировочно-безопасных уровней воздействия загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных пунктов и мест массового отдыха населения [Электронный ресурс] : пост. Мин-ва здравоохранения Респ. Беларусь, 08.11.2016, № 113 // База нормативных правовых актов Министерства здравоохранения Респ. Беларусь. – Режим доступа: <http://www.svetlcge.by/wp-content/uploads/2016/02/Постановление-МЗ-РБ-от-08.11.2016-№-113.pdf>. – Дата доступа: 10.02.2017.
2. Assessment report on formaldehyde for developing ambient air quality objectives. Alberta Environment. – 2006. – 112 p.
3. Безуглая, Э. Ю. Воздух городов и его изменения / Э. Ю. Безуглая, Н. В. Смирнова. – СПб. : Астерион, 2008. – 254 с.
4. Какарека, С. В. Формальдегид в атмосферном воздухе городов / С. В. Какарека // Изв. РАН, Сер. Географическая. – 2012. – № 4. – С. 104–111.
5. Какарека, С. В. Многолетняя динамика содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси / С. В. Какарека, Ю. Г. Кокош // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 31–39.
6. Кокош, Ю. Г. Геоэкологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом в городах Беларуси : дис. ... канд. географ. наук / Ю. Г. Кокош. – Минск, 2017. – 248 с.
7. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2012 [Электронный ресурс] // БелНИЦ «Экология». – Режим доступа: <http://www.ecoinfo.by/content/692.html>. – Дата доступа: 24.04.2016.
8. MAKESENS-application for trend calculation. Finnish Meteorological Institute. [Electronic resource]. – Mode of access: <http://en.ilmatieteenlaitos.fi/makesens>. – Data of access: 10.10.2016.
9. Wang, B Characteristics of Carbonyls: Concentrations and Source Strengths for Indoor and Outdoor Residential Microenvironments in China / B. Wang, S. C. Lee, K. F. Hob // Atmospheric Environment. – 2007. – Vol. 41. – Pp. 2851–2861.
10. Diurnal and seasonal trends of carbonyl compounds in roadside, urban, and suburban environment of Hong Kong / Y. Cheng [et al.] // Atmos. Environ. – 2014. – Vol. 89. – Pp. 43–51.
11. Seasonal and diurnal variations of carbonyl compounds in the urban atmosphere of Guangzhou, China / H. Lü [et al.] // Sci. Total Environ. – 2010, 408. – Pp. 3523–3529.
12. Seasonal and diurnal variations of mono- and di-carbonyls in Xi'an, China / W. T. Dai [et al.] // Atmospheric Research. – 2012. – Vol. 113. – Pp. 102–112.
13. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2013 год [Электронный ресурс] // Росгидромет. – Режим доступа: http://www.meteorf.ru/upload/iblock/23f/Obzor_2013_by_Chernogaeva_16072014.pdf. – Дата доступа: 13.06.2015.
14. Korotkova, N. V. Formaldehyde content in atmospheric air of Saratov / N. V. Korotkova, N. V. Semenova // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 107. – Pp. 199–204.
15. Seasonal, diurnal and nocturnal variations of carbonyl compounds in the semi-urban environment of Orléans, France / Z. Jiang [et al.] // J. Environ. Sci. – 2016. – Vol. 40. – Pp. 84–91.
16. Seasonal and Diurnal Variation of Formaldehyde and its Meteorological Drivers at the GAW Site Zugspitze / M. Leuchner [et al.] // Aerosol and Air Quality Research. – 2016. – Vol. 16. – Pp. 801–815.
17. Seasonal Trends of Formaldehyde and Acetaldehyde in the Megacity of São Paulo / T. Nogueira [et al.] // Atmos. Chem. Phys. – 2009. – Vol. 9. – Pp. 7131–7142.

References

1. *Normativy prede'no-dopustimykh kontsentratsiyakh zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernom vozdukhe i oriyentirovchno-bezopasnykh urovnyakh vozdeystviya zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfernom vozdukhe naselennykh punktov i mest massovogo otdykhha naseleniya: postanovleniye Ministerstva zdravookhraneniya RB, 08.11.2016 № 113. Baza normativnykh pravovykh aktov Ministerstva zdravookhraneniya RB.* Available at: <http://www.svetlcge.by/wp-content/uploads/2016/02/Postanovleniye-MZ-RB-ot-08.11.2016-№-113.pdf> (Accessed 10 July 2017) (in Russian).
2. Assessment report on formaldehyde for developing ambient air quality objectives. Alberta Environment. 2006. 112 p.
3. Bezuglaya E. Y., Smirnova N. V. *Vozdukh gorodov i yego izmeneniya* [Air of cities and its changes]. St. Petersburg, 2008. 254 p. (in Russian).
4. Kakareka S. V. *Formal'degid v atmosfernom vozdukhe gorodov* [Formaldehyde in atmospheric air of cities]. Izv. RAN, Ser. Geograficheskaya. 2012, no 4, pp. 104–111 (in Russian).
5. Kakareka S. V., Kokosh Yu. G. *Mnogoletnaya dinamika soderzhaniya formal'degida v atmosfernom vozdukhe gorodov Belarusi* [The long-term dynamics of formaldehyde content in the atmospheric air of the cities of Belarus]. *Prirodopol'zovaniye = Nature Management*, 2013, vol. 13, pp. 31–39 (in Russian).
6. Kokosh Y. G. *Geoekologicheskaya otsenka zagryazneniya atmosfernogo vozdukh formal'degidom v gorodakh Belarusi. Autoref. cand.geograf. nauk* [Geoecological assessment of the formaldehyde air pollution in cities of Belarus PhD. geogr. sci. diss]. Minsk, 2017, 248 p. (in Russian).

7. *Natsional'naya sistema monitoringa okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus': rezul'taty nablyudeniy* [National Environmental Monitoring System of the Republic of Belarus: Observation Results], 2012. Available at: <http://www.ecoinfo.by/content/692.html/> (Accessed 24 April 2016) (in Russian).
8. MAKESENS-application for trend calculation. Finnish Meteorological Institute. Available at: <http://en.ilmatieteenlaitos.fi/makesens> (Accessed 10 October 2016).
9. Wang B., Lee S. C., Ho K. F. Characteristics of Carbonyls: Concentrations and Source Strengths for Indoor and Outdoor Residential Microenvironments in China. *Atmospheric Environment*. 2007, vol. 41, pp. 2851–2861. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.11.039>.
10. Cheng Y., Lee S. C., Huang Y., Ho K. F., Ho S. S. H., Yau P. S., Louie P. K. K., Zhang R. J. Diurnal and seasonal trends of carbonyl compounds in roadside, urban, and suburban environment of Hong Kong. *Atmos. Environ.*, 2014, vol. 89, pp. 43–51.
11. Lü H., Cai Q.Y., Wen S., Chi Y., Guo S., Sheng G., Fu J. Seasonal and diurnal variations of carbonyl compounds in the urban atmosphere of Guangzhou, China. *Sci. Total Environ.* 2010, vol. 408, pp. 3523–3529.
12. Dai W. T., Sai Hang Ho S., Ho K. F., Liu W. D., Cao J. J., Lee S. C. Seasonal and diurnal variations of mono- and di-carbonyls in Xi'an, China // *Atmospheric Research*. 2012, vol. 113, pp. 102–112. doi:10.1016/j.atmosres.2012.05.001.
13. *Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchey sredy v Rossiyskoy Federatsii za 2013 god* [Review of the state and environmental pollution in the Russian Federation for 2013]. Rosgidromet. Available at: http://www.meteorf.ru/upload/iblock/23f/Obzor_2013_by_Chernogaeva_16072014.pdf/ (Accessed 13 June 2015) (in Russian).
14. Korotkova N. V., Semenova N. V. Formaldehyde content in atmospheric air of Saratov IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018, vol. 107, pp. 199–204. doi:10.1088/1755-1315/107/1/012033.
15. Jiang Z., Grosselin B., Daëlle V., Mellouki A., Mu Y. Seasonal, diurnal and nocturnal variations of carbonyl compounds in the semi-urban environment of Orléans, France. *J. Environ. Sci.* 2016, vol. 40, pp. 84–91.
16. Leuchner M., Ghasemifard H., Lüpke M., Ries L., Schunk Ch., Menzel A. Seasonal and Diurnal Variation of Formaldehyde and its Meteorological Drivers at the GAW Site Zugspitze. *Aerosol and Air Quality Research*. 2016, vol. 16, pp. 801–815.
17. Nogueira T., Dominutti P. A., Fornaro A., de Fatima Andrade M. Seasonal Trends of Formaldehyde and Acetaldehyde in the Megacity of São Paulo *Atmos. Chem. Phys.* 2009, vol. 9, pp. 7131–7142.

Информация об авторах

Кокош Юлия Геннадьевна – канд. геогр. наук, науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: y-kokosh@mail.ru

Какарека Сергей Витальевич – д-р техн. наук, зав. лаб. трансграничного загрязнения, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: sk001@yandex.ru

Information about the authors

Yuliya G. Kokosh – Ph.D. (Geography), Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: y-kokosh@mail.ru

Sergey V. Kakareka – D.Sc. (Technical), Head of Lab. of Transboundary Pollution, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: sk001@yandex.ru

МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ СЕТИ ЗАПОВЕДНЫХ ОБЪЕКТОВ В УКРАИНЕ

Л. Г. Руденко¹, А. Г. Голубцов¹, В. М. Чехний¹, Е. И. Иваненко¹, Я. П. Дидух², С. А. Лисовский¹, Е. А. Маруняк¹, В. А. Костюшин³

¹*Институт географии НАН Украины, Киев, Украина;*

²*Институт ботаники им. Н. Г. Холодного НАН Украины, Киев, Украина;*

³*Институт зоологии им И. И. Шмальгаузена НАН Украины, Киев, Украина*

Аннотация. В статье представлен опыт оценивания территории Украины для целей создания перспективной сети природоохранных объектов как результат совместных комплексных исследований институтов географии, ботаники и зоологии НАН Украины.

Рассмотрены стратегические направления развития природно-заповедного фонда Украины, в частности, в контексте международных обязательств государства. Определены главные проблемы в организации современной сети заповедных территорий в Украине на уровне физико-географических провинций (краев) и намечены пути их решения. Обоснованы базовые подходы, принципы и критерии оценивания территории для целей заповедования. Раскрыто содержание комплексной методики, которая охватывает географические, ботанические и зоологические составляющие, показаны примеры ее использования для территории лесостепной и степной природных зон Украины, представлены предложения по созданию и развитию перспективной сети объектов природно-заповедного фонда.

Ключевые слова: природно-заповедный фонд Украины; ландшафтное и биологическое разнообразие; сеть заповедных территорий; оценивание территории; лесостепная и степная природные зоны.

Для цитирования. Руденко Л. Г., Голубцов А. Г., Чехний В. М., Иваненко Е. И., Дидух Я. П., Лисовский С. А., Маруняк Е. А., Костюшин В. А. Методика оценивания территории для формирования сети заповедных объектов в Украине // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 37–50.

METHODOLOGY OF TERRITORY ASSESSMENT FOR THE DEVELOPMENT OF PROTECTED AREAS NETWORK IN UKRAINE

L. H. Rudenko¹, O. H. Golubtsov¹, V. M. Chekhniy¹, Eu. I. Ivanenko¹, Ya. P. Didukh², S. A. Lisovskiy¹, Eu. O. Maruniak¹, V. A. Kostiushyn³

¹*Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine;*

²*M. G. Kholodny Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine;*

³*I. I. Schmalhausen Institute of Zoology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine*

Abstract. The experience on assessment of the territory of Ukraine for the purpose of creating a prospective network of protected areas as a result of joint comprehensive studies of the institutes of geography, botany and zoology of the NAS of Ukraine was presented.

In the context of the strategic objectives of the development of the nature reserve fund of Ukraine, the problems of modern spatial organization of the network of protected areas of Ukraine were considered. The gaps in the existing system of the nature reserve fund at the level of individual physical-geographical provinces were identified. The main ways to fill them were outlined. The basic approaches, principles and criteria for assessing the territory for the purposes of nature reserve fund extension were specified. The content of the complex methodology, which covers the geographical, botanical and zoological constituents were substantiated. Proposals for the creation of a network of new and expanding existing protected areas were grounded for the territories of Steppe and Forest-steppe natural zones of Ukraine.

Key words: natural reserve fund of Ukraine; landscape and biological diversity; network of protected areas; territory assessment; forest-steppe and steppe natural zones.

For citation. Rudenko L. H., Golubtsov O. H., Chekhniy V. M., Ivanenko Eu. I., Didukh Ya. P., Lisovskiy S. A., Maruniak Eu. O., Kostiushyn V. A. Methodology of territory assessment for the development of protected areas network in Ukraine. *Nature Management*. 2019, no. 1, pp. 37–50.

Странами Конвенции о биологическом разнообразии в 2010 г. в Японии был принят Стратегический план в области сохранения устойчивого использования биоразнообразия на 2011–2020 гг. (далее – Стратегический план). Одна из целей этого плана (Цель 11), принятых в префектуре Айти

(Цели Айти), сформулирована следующим образом: «К 2020 году не менее 17 процентов районов суши и внутренних вод и 10 процентов прибрежных и морских районов, и в частности районов, имеющих особо важное значение для сохранения биоразнообразия и обеспечения экосистемных услуг, сохраняются за счет эффективного и справедливого управления, существования экологически репрезентативных и хорошо связанных между собой систем охраняемых районов и применения других природоохранных мер на порайонной основе и включения их в более широкие ландшафты суши и морские ландшафты».

Иными словами, речь идет об отборе определенного количества ценных участков суши и моря, установлении в их пределах природоохранного режима или проведении природоохранных мер. В первую очередь такая деятельность обеспечивается формированием природоохранных территорий разного назначения.

Согласно Конвенции о биологическом разнообразии «Стратегический план обеспечивает общую структуру для деятельности по сохранению биоразнообразия не только конвенций, связанных с биоразнообразием, но и всей системы Организации Объединенных Наций и других партнеров, занимающихся вопросами управления и разработки политики в области биоразнообразия» и «Стороны согласились разработать в течение двух лет пересмотренные и обновленные национальные стратегии и планы действий по сохранению биоразнообразия на основе этой общей международной структуры» [1].

В соответствии со Стратегическим планом Украина разработала и приняла Закон Украины «Об основных принципах (стратегии) государственной экологической политики Украины на период до 2020 года» [2] (далее – Закон), в котором, в частности, указано задание: «расширение площади природно-заповедного фонда (или ПЗФ – национальная система особо охраняемых территорий, которая включает в себя традиционные категории – заповедники, заказники, национальные парки и др.) до 10 % в 2015 году и до 15 % в 2020 году».

В отличии от Цели 11 Стратегического плана, в Законе не проведено разграничение между морем и сушей (хотя площадь территориальных вод Украины в акватории Черного и Азовского морей составляет 6 % площади территории страны). При этом процентная доля суши довольно сходна – 17 % в Цели 11 и 15 % в Законе. При этом следует учитывать, что ПЗФ в Украине представляет далеко не все природоохранные объекты и территории, которые могут быть признаны природоохранными по классификации Международного союза охраны природы. В Украине также выделяют территории, охраняемые в рамках выполнения международных обязательств, в частности – Рамсарской, Бернской, Боннской конвенций. Таким образом, у Закона намного более масштабное и сложное задание.

На сегодня площадь природоохранных территорий всего мира составляет около 15 % суши и 10 % территориальных вод, а площадь ПЗФ Украины составляет лишь 6,6 % от площади страны. Цель 11 теоретически может быть достигнута, но, судя по довольно медленной, хотя и позитивной динамике роста ПЗФ в последние годы, выполнить задание, поставленное Законом до 2020 г., не удается. В то же время, учитывая различную успешность этапов в истории формирования ПЗФ, следует подчеркнуть необходимость масштабных исследований, анализа информации и подготовки обоснованных предложений по созданию заповедных объектов.

Этим обусловлена и цель данного исследования – рассмотреть проблемы современной организации сети ПЗФ и обосновать основные методические составляющие оценивания территории Украины для создания перспективной сети природоохранных территорий.

Проблемы в организации современной сети заповедных территорий в Украине. Под проблемами в организации сети заповедных территорий прежде всего подразумеваются:

- 1) недостаточная репрезентативность территорий и объектов ПЗФ с точки зрения биологического и ландшафтного разнообразия;
- 2) неравномерное их распределение по территории, что обуславливает разную степень связности отдельных составляющих сети ПЗФ.

Репрезентативность ПЗФ. Вопрос представленности разнообразия природы в заповедных объектах сопровождал природоохранную деятельность со второй половины XIX в. Еще в 1894 г. В. В. Докучаеву были предоставлены первые степные участки для создания сети природных «лабораторий», которая в дальнейшем должна была распространиться на все природные зоны.

Для определения проблем в организации ПЗФ Украины использовался метод комплексного физико-географического (ф-г), а также других типов районирования. Этот метод достаточно информативен и объективен в масштабе всей страны, хотя он плохо применим на локальном уровне.

Среди многих схем ф-г районирования Украины, составленных за последние полвека, в целях данного исследования была избрана схема, представленная в Национальном атласе Украины, 2007 г. [3]. Подсчет проводили на уровне ф-г зон и провинций.

Для вычисления доли заповедных объектов в регионах использовали цифровые карты заповедных объектов, изначально предоставленные Министерством экологии и природных ресурсов Украины (далее – Министерство) и дополненные в процессе последующей работы. Карты отображают около 88 % от фактической площади ПЗФ, на них отражены все объекты. Кроме того, при подсчетах не учитывались самые мелкие участки – площадью до 10 га. Потому таких данных вполне достаточно для анализа репрезентативности в масштабе всей страны.

Следует отметить, что в Украине до сих пор не существует единой согласованной базы данных картографической информации о заповедных объектах в силу отсутствия централизированной системы управления процессом заповедания: объекты национального значения утверждаются Министерством, а местного значения – местными органами управления.

Результаты подсчетов площадей ПЗФ отображены на рис. 1 и в табл. 1. Согласно этим данным провинции можно разделить группы: лесостепные и степные – 1–5 %, лесные – 8–9, горные – 11–13, морские акватории – 6 %.

Ни в одном из регионов Украины на 100% не достигнуто значение показателя площади ПЗФ, запланированного к 2020 г., а в большинстве регионов его выполнение не достигает и 50 %. При этом потенциал для заповедания Полесской провинции (края), горных стран и морских акваторий достаточно высок – потенциальных участков здесь больше (15 %). Такие участки существуют и в Западноукраинской провинции широколиственно-лесной зоны. В лесостепных провинциях хотя и достаточно территорий, но степные участки составляют небольшую их часть. Еще более сложная ситуация с наличием природных территорий в степных провинциях. Поэтому для лесостепных и степных провинций кроме заповедания нужно планировать меры по ренатурализации степей на месте хозяйственных земель. Если в Карпатах долю ПЗФ нужно увеличить лишь на 2 %, то в степи – на 12,6 %. В абсолютных показателях эти значения еще более контрастные: если в Карпатском регионе необходимо заповедать 0,8 тыс. км², то в степном – 27 тыс. км², т. е. необходимо в 33 раза больше усилий.

Таким образом, возможности расширения ПЗФ в разных регионах Украины весьма различны. Если стремиться достичь показателя площади заповедания 15 % для каждого региона, то процесс расширения ПЗФ может существенно затянуться. Поэтому в зависимости от природно-хозяйственных условий и тенденций заповедания были разработаны показатели диверсификации запланированной доли ПЗФ для разных физико-географических регионов (табл. 2).

Связанность ПЗФ. Каждый биологический вид характеризуется определенным ареалом распространения и стремлением его расширить. Хозяйственная деятельность привела к фрагментации природных ареалов. Связанность природных участков обеспечивается соединением отдельных их фрагментов с целью свободного распространения и перемещения биоты.



Рис. 1. Репрезентативность ПЗФ Украины

Fig. 1. Representativeness of the nature reserve fund of Ukraine

Таблица 1. Качественные показатели репрезентативности природно-заповедного фонда Украины**Table 1. Quantitative indicators of representativeness of the nature reserve fund of Ukraine**

Физико-географические зоны, горные страны и море	Номер физико-географической провинции	Физико-географические провинции	Доля площади ПЗФ в физико-географической провинции, %
Зона смешанных лесов	1	Полесский край	8,39
Зона широколиственных лесов	2	Западноукраинский край	9,12
Лесостепная зона	3	Подольско-Приднепровский край	1,31
	4	Левобережноднепровский край	4,42
	5	Восточноукраинский край	3,90
	6	Днестровско-Днепровский край	0,98
	7	Левобережноднепровский-Приазовский край	2,28
Степная зона	8	Донецкий край	1,53
	9	Задонецко-Донской край	4,35
	10	Причерноморский среднестепной край	2,76
	11	Причерноморский-Приазовский край	7,66
	12	Крымский степной край	1,73
Карпаты	13	Горный край Украинские Карпаты	11,25
Крымские горы	14	Крымский горный край	13,00
Морские акватории	15	Черное море	7,66
	16	Азовское море	4,73

Таблица 2. Распределение предложенной доли ПЗФ Украины в физико-географических регионах**Table 2. Distribution of the proposed percentage of the nature reserve fund of Ukraine in physico-geographical regions**

Физико-географический регион	Площадь региона в пределах Украины, тыс. км ²	Предложенная доля ПЗФ, %	Предложенная площадь ПЗФ, тыс. км ²
Зона смешанных лесов	84	20	16,8
Зона широколиственных лесов	57	15	8,6
Лесостепная зона	157	12	18,9
Степная зона	214	10	21,4
Карпаты	35	25	8,8
Крымские горы	7	20	1,4
Морские акватории	49	30	14,7
Украина	604	15	90,6

Теоретическое обоснование связанности было заложено в ряде теорий.

1. Теория островной биогеографии Макартура и Вилсона.
2. Теория метапопуляции Левинса.
3. Теория «источника» и «стока» Пуллиама.

Принцип обеспечения связанности положен в основу концепции экосетей и отдельных экокоридоров.

В обеспечении связанности природной среды ПЗФ играет ключевую роль. Для этого заповедные участки ПЗФ должны быть расположены достаточно близко друг к другу и достаточно репрезентативно отражать разнообразие биотопов. Подробному обоснованию параметров вычисления и отображения связанности посвящено отдельное исследование [4]. Ниже приведены картографическое отображение связанности (рис. 2) и короткий анализ полученных данных.

Суть подхода заключается в следующем. Вокруг участков ПЗФ суши были выделены 1,5-километровые буферные зоны, обозначенные тем же цветом, что и сами участки. Это позволяет выделить изоляционный 1,5-километровый барьер, в пределах которого нет первостепенной необходимости заповедания. Соединение этих буферных зон свидетельствует о том, что между существующими участками расстояние составляет 0–3 км. Вокруг участков были отображены также другие буферные зоны, обозначенные градацией цветов. При формировании буферных зон были исключены самые маленькие участки – площадью до 50 га.

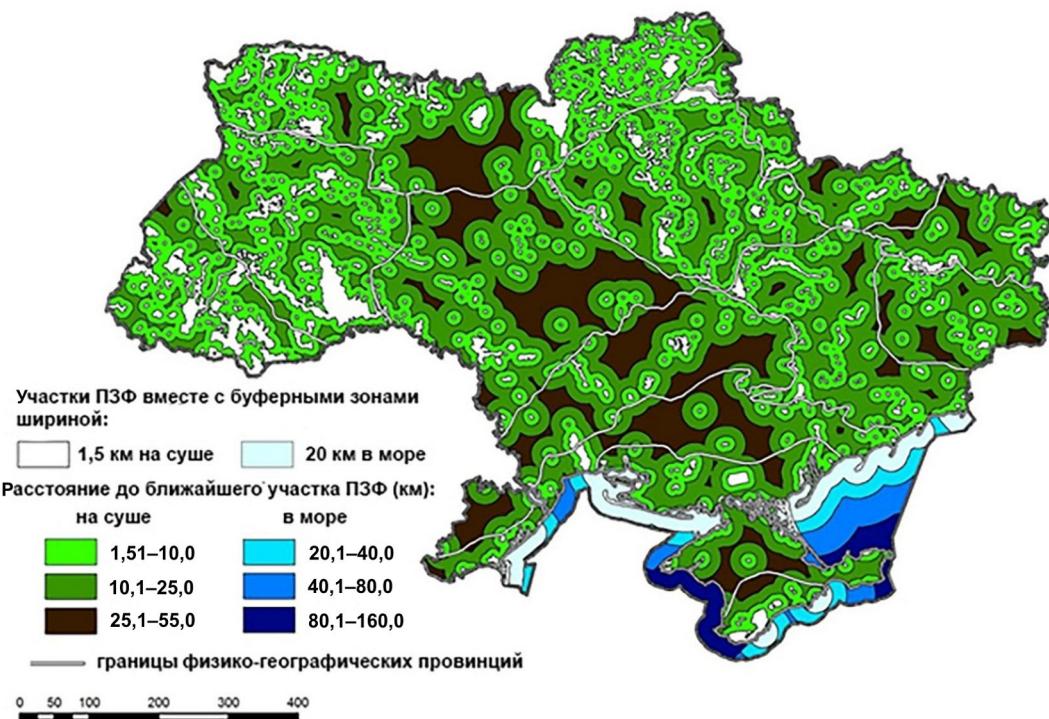


Рис. 2. Связанность ПЗФ Украины

Fig. 2. Connectedness of the nature reserve fund of Ukraine

Для оценивания связанности ПЗФ морских акваторий были проведены три буферные зоны – на расстоянии 20, 40 и 80 км от заповедных участков, а одним цветом с ними отображена буферная зона на расстоянии до 20 км с тем же подходом, что и для суши. Буферные зоны не были проведены по другую сторону, т. е. на суше, так как береговая линия является мощным экологическим барьером. Участки с минимальными продольными размерами менее 1 км исключались, поскольку они мало способствуют связанности морской природной среды и могут исказить общую картину.

Связанность ПЗФ в пределах материковых водных объектов не определялась в силу сравнительно малого их размера. Материковое водное пространство рассматривалось вместе с сушей.

В результате проведенного анализа можно отметить следующее. Наилучшая связанность ПЗФ суши представлена в Карпатах, в западной и восточной части Украинского Полесья. В морских акваториях ПЗФ характеризуется большей связанностью вдоль побережья Херсонской, Запорожской и Донецкой областей, а также вдоль южного побережья Одесской области. Ареалы темного цвета на рис. 2 отображают наиболее отдаленные от существующих территорий ПЗФ регионы. На суше они сгруппированы в два пояса: вдоль степного региона и вдоль правого берега Днепра, в море – на юге Азовского моря и вдоль западной, юго-западной и восточной частей Крымского полуострова.

Руководствуясь данными по связанности ПЗФ, заповедание материковых участков желательно проводить по следующей схеме:

- 1) заповедать большие и средние по размеру участки (градация размеров обоснована в соответствующем исследовании) [5] в наиболее отдаленных от ПЗФ регионах;

- 2) на расстоянии 10–25 км от существующих территорий и объектов ПЗФ заповедать средние и маленькие участки, размещая их таким образом, чтобы наиболее отдаленные от ПЗФ места находились на расстоянии не более 10 км до него (расстояние между заповедными объектами будет составлять 0–20 км);

- 3) заповедать маленькие и средние участки, размещая их таким образом, чтобы участки ПЗФ, окруженные 1,5-километровой буферной зоной, формировали неразрывную сеть.

В морских акваториях первоочередными для заповедания являются прибрежные зоны, наиболее отдаленные от ПЗФ.

Эти рекомендации направлены на улучшение связанности ПЗФ, но они не должны препятствовать заповеданию ценных природных участков в любом месте, если существует необходимость и возможность включить их в сеть ПЗФ.

Основные принципы и критерии оценивания территорий для заповедания. Разработка научных рекомендаций по созданию сети территорий и объектов ПЗФ – комплексная и многоаспектная проблема. Оценка территории для этих целей предусматривает согласованное использование методического арсенала ряда научных подходов, в первую очередь географического, ландшафтovedческого, ландшафтно-экологического, био- (фито- и зоо-) географического, геоботанического и др. Эти подходы обеспечивают главные составляющие комплексной оценки территории, необходимые для реализации Закона Украины «О природно-заповедном фонде Украины» [6], согласно положениям которого территории и объекты природно-заповедного фонда – это «участки суши и водного пространства с природными комплексами и объектами, имеющими особую природоохранную, экологическую, научную, эстетическую, рекреационную и другую ценность».

В качестве базовых при формировании сети природоохранных территорий **предлагаются принципы** системности, разнообразия, репрезентативности, размерности, экологичности, функциональности, регуляторности, эталонности, ценности (значимости), информативности [7]. **Принцип системности** обеспечивает системную интерпретацию заповедных объектов – особенностей их строения, структуры, иерархии, места в экосети. **Принцип разнообразия** акцентирует внимание на многообразии проявлений живого на разных уровнях его организации – от видового до ценотического, а также разнообразии экосистем и ландшафтов. **Принцип репрезентативности** предусматривает охрану не только раритетных, но и типичных биосистем (видов, ценозов, биотопов) и ландшафтов; репрезентативность биосистем оценивают в различных аспектах: типологическом, топологическом, региональном (хорологическом) и временном. **Принцип размерности** выражен в размере территорий, способных поддерживать состояние популяций определенных видов, характер природных процессов, что важно при обосновании границ заповедных территорий. **Принцип экологичности** отражает необходимость оценки условий обитания видов, ценозов, учета зависимости экосистем от внешних факторов, степени их устойчивости к воздействию внешних факторов, потенциала восстановления. **Принцип функциональности** отображает динамические аспекты организации заповедных территорий, поведение экосистем и их различные временные изменения (флуктуационные, сукцессионные или синэволюционные). **Принцип регуляторности** относится к проявлению важных средоформирующих функций живого – влияния на трансформацию энергии и обеспечения кругооборота веществ в природе, что формирует качество среды. **Принцип эталонности** подчеркивает важность эталонных экосистем заповедных объектов, которые находятся в состоянии, близкому к природному, в аспекте обеспечения устойчивого развития регионов как гармонизации отношений общества и природы. **Принцип интегральной ценности (значимости)** обязывает принимать во внимание при оценке территории для природоохранных целей экологическую, рекреационную, социально-культурную, историческую, экономическую составляющие. **Принцип информативности** касается организации научных исследований и образовательной, просветительской деятельности – распространение информации о перспективном заповедном объекте в контексте повышения экологического сознания, культуры и воспитания населения.

Методические подходы к оцениванию территории. *Оценивание ландшафтов.* Главная теоретическая предпосылка для оценивания территории с позиций ландшафтovedения и ландшафтной экологии – это представления о гетерогенности (неоднородности) земной поверхности, которые являются базовыми в этих научных дисциплинах, конкретизируются в понятиях ландшафтной структуры и ландшафтного разнообразия (ЛР) территории [8]. Сочетание топологических единиц (экомеров), составляющих ландшафт, отражает структуру их β-разнообразия [9]. Важна в этом отношении оценка связи между пространственной структурой территории и процессами, которые, с одной стороны, ее формируют, а с другой – отражают ее характер. Особое внимание стоит уделять процессам, связанным с поддержанием качества природной среды, которые напрямую касаются сохранения биологического и ландшафтного разнообразия. В свою очередь, высокий уровень биологического и ландшафтного разнообразия позитивно влияет на экологическую стабильность территории. Эти аспекты задействованы в концепции экологических услуг [10], которая отображает тесную связь природных процессов и благосостояния общества.

В последнее время наблюдается активизация внимания географов к ландшафтному разнообразию, в частности в контексте реализации Украиной ряда международных соглашений, в первую очередь «Общеевропейской стратегии сохранения биологического и ландшафтного разнообразия» и «Европейской ландшафтной конвенции». В природоохранном контексте является важной связь между ландшафтным и биологическим разнообразием, показатели ЛР могут быть и индикаторами биологического разнообразия [11].

М. Д. Гродзинский [12] обосновывает четыре главных типа ландшафтного разнообразия, которые закономерно дополняют друг друга. В контексте нашего исследования важными и необходимыми

для учета являются два из них: пространственно-структурное и ландшафтно-антропическое. Пространственно-структурное ландшафтное разнообразие имеет отношение к территориальной структуре ландшафта, определяется его метрическими, топологическими и типологическими особенностями. Антропическое ландшафтное разнообразие – к территориальной структуре современного ландшафта, представленной сочетанием земель различного использования и состояния – многообразием угодий или типов земельного покрова (*land cover*) в пределах территории. Антропическое ЛР по сравнению со структурно-ландшафтным значительно более динамично.

Расчеты ландшафтного разнообразия осуществляются на основе так называемых ландшафтных метрик (*landscape metrics*) [13]. Активное их использование в последние годы связано с тем, что ГИС и данные дистанционного зондирования (ДДЗ) стали уже привычными в географических исследованиях. В настоящее время есть несколько сотен ландшафтных метрик, расчет которых осуществляются с помощью различного программного обеспечения. Классической является программа Fragstats, разработанная в середине 1990-х годов и на данный момент активно используемая учеными всего мира для оценивания и мониторинга био- и ландшафтного разнообразия, качества вод, изучения изменений в природопользовании, структуре растительного покрова, исследовании территории с целью планирования ландшафта, его восстановления, оценки влияния урбанизации и сети дорог на ландшафт, оценки качества жизни в пределах урбанизированных регионов, эстетики ландшафта [14].

На региональном уровне целесообразно использовать для оценки ландшафтного разнообразия метрики, которые относятся к группе метрик разнообразия (*diversity metrics*). Среди них основными являются индексы разнообразия и равномерности Шеннона и Симпсона, которые содержательно тесно связаны. В наших исследованиях как основной использован индекс разнообразия Шеннона (1), который отображает одновременно количество типов выделов и равномерность их распространения. При показателе 0 – присутствует только один тип выделов (нет разнообразия), а с увеличением количества выделов и/или равномерности их распределения этот показатель возрастает.

$$SHDI = - \sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i), \quad (1)$$

где m – количество типов выделов; P_i – доля ландшафта, занятая выделом i -го типа (m – number of patch type (class); P_i – proportion of the landscape occupied by patch type (class) i).

Для расчетов показателей ландшафтного разнообразия в контексте нашего исследования предлагается использование модели современного ландшафта, которая базируется на методических подходах к выделению экологических территориальных единиц (*Ecological Land Units*) [15]. Эти подходы были реализованы при создании карты «Экологические территориальные единицы мира» (*World Ecological Land Units Map*) [16] – комплексной разработки, в которой были задействованы Ассоциация американских географов, геологическая служба США, компания ESRI и Группа наблюдения за Землей (*The Group on Earth Observation*). В контексте этих наработок экологическая территориальная единица (*Ecological Land Units*; далее – ELU) определяется как ареал сочетания своеобразных биоклиматических, литологических условий, форм земной поверхности и типов земного покрова (*land cover*). Авторами этой публикации к основным четырем составляющим предложенной модели была добавлена пятая – почвы [17].

Важный критерий оценки территории для природоохранных целей – степень антропогенной преобразованности ее ландшафтов. Ключом к выяснению степени изменений является земной покров (*land cover*). Комплексным показателем, который дает возможность оценить степень трансформированности естественных ландшафтов, является коэффициент антропогенной преобразованности [18]. Его суть заключается в оценке вклада каждого из видов человеческой деятельности в преобразование природного ландшафта. Главными составляющими расчета этого показателя являются различные виды землепользования, которые отличаются по силе влияния на природный ландшафт, и доля того или иного вида землепользования в пределах определенного ландшафта.

ГИС-анализ ландшафтов с целью определения потенциальных заповедных территорий, который базируется на изложенных выше положениях, осуществляется на основе учета принципов и методических подходов ландшафтного планирования [19], в частности сопряженного анализа результатов оценки значимости ландшафтов и их чувствительности к различным воздействиям. Такой анализ ландшафтов направлен на определение значимых для заповедания ареалов (степень соответствия естественному состоянию, степень ландшафтного разнообразия) и ареалов, чувствительных к антропогенным воздействиям в связи с возможностью перевода таких ареалов к категории природоохранных (степень фрагментированности и антропогенной трансформации ландшафтов).

Оценивание биоты. Необходимыми для использования являются критерии природоохранной оценки территорий, заложенные в международных конвенциях, участником которых является Украина: Рамсарской (Конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, главным образом, как среда обитания водоплавающих птиц), Бернской (Конвенция об охране дикой флоры и фауны и природных сред обитания в Европе), Боннской (Конвенция о сохранении мигрирующих

видов диких животных). Исходя из того, что Украина подписала соглашение об ассоциации с ЕС и находится в стадии аппроксимации своего законодательства с законодательством ЕС, важными для учета являются также положения директив ЕС, в первую очередь Директивы по сохранению природных местообитаний дикой фауны и флоры (биотопов) и Директивы по сохранению диких птиц. Отдельная методическая составляющая оценки территории для целей создания заповедных территорий – рекомендации международных природоохранных организаций, в частности Международного союза охраны природы (IUCN).

Практика создания заповедных территорий в Украине опирается главным образом на использование списков видов, подлежащих особой охране. Наличие таких видов является главным критерием для оценки значимости территории. Это списки международного, национального и регионального уровней. На национальном уровне – это Красная книга Украины, главный документ, в котором обобщены материалы о современном состоянии редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных и растений. В соответствии с законодательством Украины областные советы и Верховный Совет АР Крым вправе утверждать собственные, региональные списки видов животных и растений, подлежащих особой охране в пределах области.

Следует отметить, что формирование списков приоритетных видов, или подвидов, или популяций, базируется на оценках их природоохранного статуса (*conservation status*), получаемых путем анализа трендов численности видов и динамики их ареалов. Например, такие критерии были разработаны Международным союзом охраны природы уже около 20 лет назад и достаточно широко используются в мире. В то же время в зарубежной практике, в частности в странах ЕС, широко используются и критерии другого типа, которые могут дополнять списки видов, нуждающихся в охране, и критерии, которые не связаны с конкретными видами. Например, могут использоваться такие пороговые критерии, как:

- территория (акватория) поддерживает более 1 % национальной популяции вида;
- территория (акватория) поддерживает более 1 % географической популяции вида;
- на водно-болотном угодье регулярно находится более 20 тыс. водоплавающих птиц.

Последний критерий является примером критериев, где используются не списки редких видов, а общая численность, независимо от того, нуждаются они в охране или нет. В данном случае важность территории оценивается по ее общему значению для сохранения видов водоплавающих птиц.

Возникает необходимость усовершенствования критериев оценки территории с позиций сохранения биоты. В частности, при ботанической и геоботанической оценке территории для целей заповедания целесообразным является рассмотрение разных категорий биоразнообразия (флористического, структурно-таксономического, ценотического (синтаксономического), биотического). Индикаторами такой оценки выступают не только отдельные категории, а и их количественные соотношения. Это нашло отражение в издании «Зеленой книги Украины» [20], официального законодательного документа, а также в разработке классификации биотопов [21, 22], на основе которой подготовлен «Национальный каталог биотопов Украины» [23] и разработаны критерии количественной оценки влияния на них угроз, созологической значимости, рисков потерь [24].

Основные положения «Повестки дня на XXI век» и Конвенции по биологическому разнообразию, внедрение концепции экосистемных услуг, а также опыт развития заповедного дела многих европейских стран обусловливают комплексный взгляд на определение ценности территории, режимы ее использования [25]. Учитывая потребность гармонизации отношений общества и природы, все больше внимания, в том числе при организации охраняемых территорий, уделяется научным, образовательным, рекреационным функциям природных и природно-антропогенных территорий. Именно такой подход позволяет повысить эффективность управления ПЗФ, осведомленность местного населения, стимулировать развитие регионов.

Оценка общественной значимости при создании территорий ПЗФ должна учитывать следующие аспекты.

1. Потенциальное значение различных территорий с точки зрения развития локальной, региональной и национальной экономики.
2. Наличие объектов историко-культурного наследия или сведений об их потенциальном наличии, а также характеристики.
3. Наличие ареалов, которые имеют сакральное значение для местной общины, региона, страны.
4. Потенциальные возможности использования/востребованность природно-рекреационного и историко-культурного потенциала территории с точки зрения обеспечения существующих туристических и рекреационных потребностей на локальном, региональном, национальном и международном уровне.
5. Потенциал экосистемных услуг территории и возможности его реализации в случае установления природно-заповедного режима [26].
6. Возможности комплексного использования природных комплексов и объектов историко-культурного наследия для развития туризма и рекреации.

7. Возможности организации научных исследований, мониторинга состояния окружающей среды.
8. Возможности использования территории/объекта ПЗФ для целей образования/просвещения.

9. Значимость территории с точки зрения поддержания общего экологического баланса в регионе, моделирование и мониторинг комплексного использования объектов ПЗФ в качестве элементов в системе организации процесса природопользования.

Успешность оценки такого рода тесно связана с обязательностью принятия управлеченческих решений на основе рекомендаций утвержденных схем, планов, стратегий планирования территорий, а также отчетов о стратегической экологической оценке.

Апробация методики в природных зонах Украины. Сеть потенциальных заповедных территорий в пределах лесостепной и степной природных зон Украины определена на основе упомянутых выше принципов, результатов полевых исследований и ГИС-анализа современных ландшафтов с использованием цифровой карты, которая создана согласно методическим подходам моделирования ELU. Структура современных ландшафтов смоделирована в ГИС на основе комбинации пяти тематических наборов геопространственных данных, которые описывают биоклимат, формы земной поверхности, поверхностные отложения, земной покров (land cover), а также почвы. Таким образом, комплексно учтены как природные, так и антропогенные особенности территории. На основе цифровой карты современных ландшафтов рассчитаны две группы оценочных показателей и созданы соответствующие цифровые карты.

Степень антропогенной трансформации ландшафтов как показатель чувствительности к антропогенным воздействиям, определение которого основывается на анализе структуры современных ландшафтов, в частности таких ключевых и наиболее динамичных составляющих, как земной покров (land cover) и почвенный покров. Экспертная оценка особенностей этих элементов дала возможность дифференцировать территорию исследования по степени антропогенного преобразования. Ведущий критерий оценки – чем больше доля элементов ландшафта, обусловленная влиянием человека и его хозяйственной деятельности, тем больше преобразован ландшафт.

Ландшафты степной и лесостепной зоны претерпели существенные преобразования в результате деятельности человека. Основной фактор воздействия – земледелие, земли практически полностью распаханы и интенсивно используются в сельском хозяйстве. Весьма значительным фактором влияния является городская застройка, особенно на Донбассе, где сформировались крупные агломерации с практически сплошной промышленной и жилой застройкой. Еще один существенный фактор трансформации природного ландшафта – создание каскада водохранилищ в пойме Днепра, в результате чего изменились практически все компоненты ландшафта, в том числе местно-климатические условия и гидрологический режим. Меньше изменены ландшафты сильно расчлененных возвышенностей наПравобережье Днепра. Здесь условия земледелия достаточно неблагоприятные из-за геоморфологических особенностей – значительная вертикальная и горизонтальная расчлененность, интенсивное развитие эрозионных процессов, доминирование склоновых поверхностей. Поймы рек, особенно на Левобережье, мало изменены, главным образом за счет сохранения лесного покрова или сохранения в естественном состоянии заливных лугов.

Степень ландшафтного разнообразия как показатель значимости ландшафтов для заповедания. Для анализа и конфигурации перспективных заповедных территорий использованы результаты оценки ландшафтного разнообразия по индексу разнообразия Шеннона (*SHD*).

Сопряженный анализ этих двух групп показателей дал возможность разработать схему потенциальных заповедных территорий (рис. 3):

1) к зоне приоритетного заповедания отнесены территории с очень высокой степенью ландшафтного разнообразия. Ландшафты в приближенном к естественному состоянию или слабоизмененные – это ландшафты, покрытые травяной, кустарниковой или лесной растительностью под малоизмененными почвами;

2) к зоне перспективного заповедания отнесены территории с высокой степенью ландшафтного разнообразия. К этой категории также отнесены ландшафты средней степени преобразования, характеризующиеся мозаичным мелкоконтурным сочетанием природной растительности и агроугодий. В условиях сильно преобразованных ландшафтов именно эти ареалы перспективны для восстановления природных ландшафтов и могут быть резервом расширения территорий природно-заповедного фонда.

Отдельно на карте отражены предложения по созданию заповедных территорий, полученные на основе полевых исследований и предложений государственных органов исполнительной власти и местных органов самоуправления, ученых, работников образования и экологической общественности.

Представленные результаты уже используются в работе Министерства экологии и природных ресурсов Украины при рассмотрении направлений расширения сети природно-заповедного фонда в пределах исследуемых территорий, также при подготовке проектов указов Президента Украины относительно создания территорий и объектов природно-заповедного фонда общегосударственного значения.

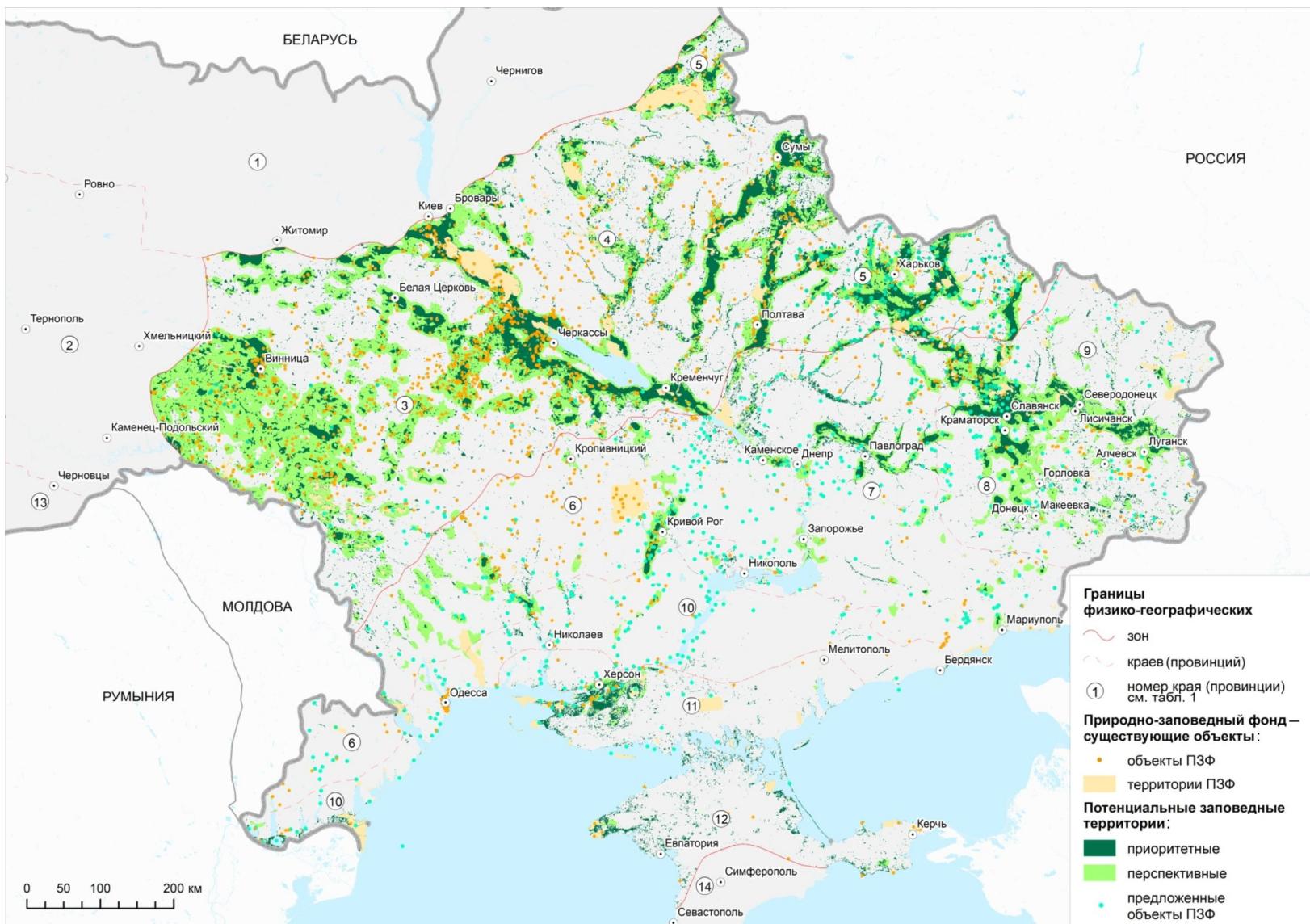


Рис. 3. Потенциальная сеть природоохранных территорий и объектов лесостепной и степной природных зон Украины

Fig. 3. Potential network of protected areas of Forest-steppe and Steppe natural zones of Ukraine

Заключение. Сегодня очевидна необходимость увеличения (расширения) площади заповедных территорий Украины, в целях улучшения экологической ситуации, сохранения ландшафтного и биологического разнообразия. В этом контексте важны реализация международных природоохраных обязательств Украины и выполнение положений национального законодательства в сфере охраны природы. В Законе Украины «Об основных принципах (стратегии) государственной экологической политики Украины на период до 2020 года» зафиксирован показатель заповедности территории Украины 15 % до 2020 г. При научном обосновании перспективной сети ПЗФ Украины необходим учет пробелов в ее современной пространственной организации в пределах отдельных ф-г регионов. При оценке территории с точки зрения заповедания представляется целесообразным согласованное использование ряда научных подходов и принципов, а также сформированных на их основе критериев, другими словами - методологического арсенала, разработанного на основе достижений географии, экологии, ботаники, зоологии и др. наук. В основе методики – сочетание традиционных методов полевых исследований и современных методов работы с данными ДДЗ на базе ГИС. Проведенный ГИС-анализ современных ландшафтов лесостепной и степной природных зон Украины на основе методических приемов ландшафтного планирования с использованием критериев степени антропогенной трансформации и ландшафтного разнообразия дал возможность выделить в пределах исследуемых территорий зоны приоритетного и перспективного заповедания. Таким образом, с учетом предложений по созданию территорий и объектов ПЗФ, полученных в результате полевых исследований и экспертиз оценок разработан проект территориальной схемы ПЗФ на примере лесостепной и степной природных зон Украины.

Благодарности

Исследование выполнено при государственной финансовой поддержке в рамках проекта «Разработка научных принципов и ландшафтно-биотических критериев организации перспективной сети заповедных территорий разного ранга» (2015-2019 гг.). Проект является частью Целевой комплексной междисциплинарной программы научных исследований НАН Украины по разработке научных основ рационального использования природно-ресурсного потенциала и устойчивого развития.

Acknowledgements

The study was carried out with the state financial support within the framework of the project “Development of scientific principles and landscape-biotic criteria for the organization of the prospective network of protected areas of different ranks” (2015-2019). The project is a part of the Target Integrated Interdisciplinary Scientific Research Program of the National Academy of Sciences of Ukraine on the development of scientific foundations for the rational use of natural resource potential and sustainable development.

Список использованной литературы

1. Convention on Biological Diversity (CBD) [Electronic recourse]. – Mode of access : <https://www.cbd.int/>. – Date of access : 02.04.2018.
2. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2011. – № 26. – С. 218.
3. Національний атлас України / гол. ред. Л. Г.Руденко. – К. : ДНВП «Картографія», 2007. – 440 с.
4. Ivanenko, Eu. Primary Criteria of Protected Areas Network Expansion / Eu. Ivanenko // Nature Reserve Fund of Ukraine Case Study. Geografický časops. – 2015. – № 3. – Рр. 285–298.
5. Иваненко, Е. И. Методические подходы к определению оптимальных размеров заповедных участков (на примере Украинского Полесья) / Е. И. Иваненко // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф. – Минск : Беларусская наука, 2016. – С. 456–460.
6. Закон України «Про природно-заповідний фонд України» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1992. – № 34. – С. 502.
7. Дідух, Я. П. Основні наукові принципи та критерії формування та оцінки заповідних об'єктів / Я. П. Дідух // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. – 2015. – Т. 171. – С. 29–33.
8. Гродзинський, М. Д. Пізнання ландшафту: місце і простір : у 2 т. / М. Д. Гродзинський. – К. : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. – Т. 1. – 431 с. ; Т. 2. – 504 с.
9. Дідух, Я. П. Методичні основи виділення та оцінки екомерів (на прикладі Дністровського каньйону) / Я. П. Дідух, Ю. В. Розенбліт // Укр. ботан. журн. – 2017. – Т. 74, № 3. – С. 227–247.
10. Ecosystem Services – Concept, Methods and Case Studies / K. Grunewald, O. Bastian (Eds.). – Berlin : Heidelberg, Springer-Verlag, 2015 – 312 р.
11. Walz, U. Landscape Structure, Landscape Metrics and Biodiversity [Electronic recourse] / U. Walz // Living Reviews in Landscape Research. – 2011. – Vol. 5 (3). – Mode of access : <http://lrlr.landscapemetrics.de/Articles/lrlr-2011-3/>. – Date of access : 02.04.2018.

12. Grodzynskyi, M. D. Dimensions and indexes of the landscape diversity [Electronic recourse] / M. D. Grodzynskyi // Journal of Education, Health and Sport. – 2015. – Vol. 5 (5). – P. 283–291. – Mode of access : https://www.researchgate.net/publication/308775820_Vimiri_ta_pokazniki_landsaftnogo_riznomanitta_Dimensions_and_indexes_of_the_landscape_diversity. – Date of access : 02.04.2018.
13. Landscape Ecology in Theory and Practice / Monica G. Turner, Robert H. Gardner. – 2nd Ed. – New York : Springer ; London : Heidelberg Dordrecht, 2015.– 482 p.
14. Landscape metrics and indices: an overview of their use in landscape research [Electronic recourse] / E. Uuemaa [et al.] // Living Reviews in Landscape Research. – 2009. – Vol. 3 (1). – Mode of access: <http://lrl.landscapeonline.de/Articles/lrlr-2009-1/>. – Date of access: 02.04.2018.
15. A New Map of Global Ecological Land Units – An Ecophysiological Stratification Approach [Electronic recourse] / R. Sayre [et al.]. – Washington, DC. Association of American Geographers. – 46 p. – Mode of access : http://www.aag.org/global_ecosystems. – Date of access : 02.04.2018.
16. World Ecological Land Units Map 2015 [Electronic recourse] / USGS, Esri, Metzger et al. 2012, ESA, GEO. – Mode of access : <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=77bbcb86d5eb48a8adb084d499c1f7ef>. – Date of access : 02.04.2018.
17. Голубцов, О. Г. Геоінформаційне картографування та аналіз сучасних ландшафтів для цілей заповідання (на прикладі степової зони України) / О. Г. Голубцов, В. М. Чехній, Ю. М. Фаріон // Укр. геогр. журн. – № 2. – 2018. – С. 61–71.
18. Шищенко, П. Г. Принципы и методы ландшафтного анализа в региональном проектировании / П. Г. Шищенко. – К. : Фитосоциоцентр, 1999. – 284 с.
19. Ландшафтне планування в Україні / Л. Г. Руденко [та інш.] ; під ред. Л. Г. Руденка. – К. : Реферат, 2014. – 144 с.
20. Зелена книга України / під ред. Я. П. Дідуха. – К. : Альтерпрес, 2009. – 448 с.
21. Біототпи лісової та лісостепової зон України / Дідух, Я. П. [та інш.]. – К. : ТОВ «Макрос», 2011. – 288 с.
22. Біотопи Гірського Криму / ред. Я. П. Дідух. – К. : ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2016 – 292 с.
23. Національний каталог біотопів України / за ред. А. А. Куземко, Я. П. Дідуха, В. А. Онищенка, Я. Шеффера. – К. : ФОП Клименко Ю. Я., 2018. – 442 с.
24. Дідух, Я. П. Оцінка стійкості та ризиків втрати екосистем / Я. П. Дідух // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. – 2014. – Т. 158. – С. 54–60.
25. Руденко, Л. Г. Развитие системы охраняемых территорий в контексте достижений целей устойчивого пространственного развития Украины / Л. Г. Руденко, С. А. Лисовский, Е. А. Маруняк // Международный журнал устойчивого развития. – 2016. – Vol. 1. – Варна : Евро-Эксперт ЕООД. – С. 30–37.
26. Руденко, Л. Г. Досвід застосування стратегічної екологічної оцінки в процесі планування в Україні / Л. Г. Руденко, С. А. Лисовський, Є. О. Маруняк // Укр. Геогр. журн. – 2016. – № 2. – С. 3–12.

References

1. Convention on Biological Diversity (CBD). Available at : <https://www.cbd.int/> (Accessed 2 April 2018).
2. Zakon Ukrayny "Pro Osnovni zasady (strategii) derzhavnoi ekologichnoi polityky Ukrayny na period do 2020 roku" [The Law of Ukraine "On the main principles (strategy) of the state environmental policy of Ukraine for the period until 2020"]. Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrayny [Verkhovna Rada of Ukraine Gazette], 2011, no. 26, p. 218 (in Ukrainian).
3. Natsionalnyi atlas Ukrayny [National Atlas of Ukraine]. Golovnyi redactor [Chief Editor] L. G. Rudenko. Kyiv, 2007, 440 p. (in Ukrainian).
4. Ivanenko Eu. Primary criteria of protected areas network expansion (Nature reserve fund of Ukraine sase study. Geograficky časops, 2015, no. 3, pp. 285–298.
5. Ivanenko Eu. I. Metodicheskie podkhody k opredeleniyu optimal'nykh razmerov zapovednykh uchastkov (na primere Ukrainskogo Poles'ya) [Methodical approaches to determining the optimal size of protected areas (in the case of Ukrainian Polesye)]. Sbornik dokladov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferentsii «Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnykh resursov i ustojchivoe razvitiye Poles'ya» [Proc. Int. Scien. Conf. "Problems of rational use of natural resources and sustainable development of Polesie"]. Minsk, 2016, pp. 456–460 (in Russian).
6. Zakon Ukrayny "Pro pryrodno-zapovidnyi fond Ukrayny" [The Law of Ukraine "On the nature reserve fund of Ukraine"]. Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrayny [Verkhovna Rada of Ukraine Gazette], 1992, no. 34, p. 502 (in Ukrainian).
7. Didukh Ya. P. Osnovni naukovi pryntsypy ta kryterii formuvannia ta otsinky zapovidnykh obiektiv [Basic scientific principles and criteria for the protected areas formation and assessment]. Naukovi zapysky NaUKMA. Biologiya ta ekologiya = NaUKMA Research Papers. Biology and Ecology, 2015, vol. 171, pp. 29–33 (in Ukrainian).
8. Grodzinskyi M.D. Piznannia landshaftu: mistse i prostir [Understanding Landscape: Place and Space]. In two volumes. Kyiv, 2005, vol. 1, 431p. ; vol. 2, 504 p. (in Ukrainian).
9. Didukh Ya. P., Rozenblit Yu. V. Metodichni osnovi vidilennya ta otsinki ekomeriv (na prikladi Dnistrovskogo kanyonu) [Methodological principles of selection and assessment of ecomers (using the Dniester Canyon as a case study)]. Ukr. Bot. J., 2017, vol. 74, no. 3, pp. 227–247. doi: 10.15407/ukrbot74.03.227 (in Ukrainian).
10. Ecosystem Services – Concept, Methods and Case Studies. K. Grunewald, O. Bastian (Eds.). Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, 2015, 312 p. doi: 10.1007/978-3-662-44143-5.
11. Walz U. Landscape Structure, Landscape Metrics and Biodiversity. Living Reviews in Landscape Research, 2011, vol. 5 (3). doi: 10.12942/lrlr-2011-3.

12. Grodzynskyi M. D. Dimensions and indexes of the landscape diversity. *Journal of Education, Health and Sport*, 2015, vol. 5 (5), pp. 283–291. doi: 10.5281/zenodo.17742.
13. Landscape Ecology in Theory and Practice. Monica G. Turner, Robert H. Gardner. New York, Springer, London, Heidelberg Dordrecht, 2015. 2nd Edition, 482 p. doi: 10.1007/978-1-4939-2794-4.
14. Uuemaa E., Antrop M., Roosaare J. et al. Landscape metrics and indices: an overview of their use in landscape research. *Living Reviews in Landscape Research*, 2009, vol. 3 (1). doi: 10.12942/lrlr-2009-1.
15. A New Map of Global Ecological Land Units – An Ecophysiological Stratification Approach. R. Sayre, J. Dangermond, C. Frye et al. Washington, DC. Association of American Geographers, 46 p. Available at: http://www.aag.org/global_ecosystems (Accessed 2 April 2018).
16. World Ecological Land Units Map 2015 / USGS, Esri, Metzger et al. 2012, ESA, GEO. Available at: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=77bbcb86d5eb48a8adb084d499c1f7ef>. (Accessed 2 April 2018).
17. Golubtsov O. H., Chekhniy V. M., Farion Yu. M. *Geoinformatsiyne kartografuvannya ta analiz suchasnikh landshaftiv dlya tsley zapovidannya (na prikladi stepovoї zoni Ukrayini)* [Geoinformation mapping and analysis of modern landscapes for the purpose of the nature conservation (by the example of the steppe zone of Ukraine)]. *Ukr. geogr. zhurn = Ukrainian geographical Journal*. 2018, no. 2, pp. 61–71. doi: 10.15407/ugz2018.02.061 (in Ukrainian).
18. Shyshchenko P. H. *Printsipy i metody landshaftnogo analiza v regional'nom proektirovani* [Principles and methods of landscape analysis in regional design]. Kiev, 1999, 284 p. (in Russian).
19. Rudenko L. H., Maruniak Eu. O., Golubtsov O. H. et al. *Landshaftne planuvannya v Ukrayini* [Landscape Planning in Ukraine]. Kyiv, Referat, 2014, 144 p. (in Ukrainian).
20. Zelena Knyha Ukrayiny [Green book of Ukraine]. Ya. P. Didukh (Ed.), Kyiv, 2009, 448 p. (in Ukrainian).
21. Didukh Ya. P., Fitsailo T. V., Korotchenko I. A., Iakushenko D. M., Pashkevych N. A. *Biototpy lisovoi ta lisostepovoi zon Ukrayiny* [Biotopes of Forest and Forest-Steppe zones of Ukraine]. Edit. in-chief Y. P. Didukh. Kyiv, LCC MAC-ROS, 2011, 288 p. (in Ukrainian).
22. *Biotopy Girskoho Krymu* [Biotopes of the Crimean Mountains]. Ya. P. Didukh (Ed.). Kyiv, Interservis, 2016, 292 p. (in Ukrainian).
23. *Natsionalnyi kataloh biotopiv Ukrayiny* [National Catalog for Biotopes of Ukraine] A. A. Kuzemko, Ya. P. Didukh, V. A. Onyshchenko, Ya. Sheffer (Eds.). Kyiv, 2018, 442 p. (in Ukrainian).
24. Didukh Ya. P. *Otsinka stiikosti ta ryzykiv vtraty ekosistem* [Assessment of stability and risk of loss of ecosystems]. *Naukovyi zapysky NaUKMA. Biologiya ta ekologiya = NaUKMA Research Papers. Biology and Ecology*, 2014, vol. 158, pp. 54–60 (in Ukrainian).
25. Rudenko L. H., Lisovskyi S. A., Maruniak Eu. A. *Razvitie sistemy okhranyaemykh territoriy v kontekste dostizheniy tseley ustoychivogo prostranstvennogo razvitiya Ukrayiny* [Development of a protected area system in the context of achieving the goals of sustainable spatial development of Ukraine]. *Mezhdunarodnyi zhurnal ustoychivogo razvitiya = International Journal of Sustainable Development*, 2016, vol. 1, Varna, pp. 30–37 (in Russian).
26. Rudenko L. H., Lisovskyi S. A., Maruniak Eu. O. *Dosvid zastosuvannya strategichnoї ekologichnoї otsinki v protsesi planuvannya v Ukrayini* [Experience of strategic environmental assessment in the planning process in Ukraine]. *Ukrainian geographical Journal*, 2016, no. 2, pp. 3–12. doi: 10.15407/ugz2016.02.003 (in Ukrainian).

Информация об авторах

Руденко Леонид Григорьевич – д-р геогр. наук, проф., академик НАН Украины, почетный директор, советник при дирекции, Ин-т географии НАН Украины (ул. Владимирская, 44, 01030, Киев, Украина). E-mail: l.gr.rudenko@gmail.com

Голубцов Александр Григорьевич – канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник, Институт географии НАН Украины (ул. Владимирская, 44, 01030, Киев, Украина). E-mail: golubtsovoaleksandr@gmail.com

Чехний Виктор Михайлович – канд. геогр. наук, зав. отделом ландшафтования, Ин-т географии НАН Украины (ул. Владимирская, 44, 01030, Киев, Украина). E-mail: chekhniy@gmail.com

Иваненко Евгений Игоревич – канд. геогр. наук, науч. сотр., Ин-т географии НАН Украины (ул. Владимирская, 44, 01030, Киев, Украина). E-mail: Ivanenko_Eugene@ukr.net

Information about the authors

Leonid H. Rudenko – D.Sc. (Geography), Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine, Adviser to the Directorate, Director Emeritus, Institute of Geography, National Academy of Sciences of Ukraine (Volodymyrska Str., 44, 01030, Kyiv, Ukraine). E-mail: l.gr.rudenko@gmail.com

Oleksandr H. Golubtsov – Ph.D (Geography), Senior Researcher, Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine (Volodymyrska Str., 44, 01030, Kyiv, Ukraine). E-mail: golubtsovoaleksandr@gmail.com

Viktor M. Chekhniy – Ph.D (Geography), Head of Landscape Studies Department, Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine (Volodymyrska Str., 44, 01030, Kyiv, Ukraine). E-mail: chekhniy@gmail.com

Eugen I. Ivanenko – Ph.D (Geography), Researcher, Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Ukraine (Volodymyrska Str., 44, 01030, Kyiv, Ukraine). E-mail: Ivanenko_Eugene@ukr.net

*Дидух Яков Петрович – д-р биол. наук, проф.,
академик НАН Украины, зав. отделом геоботаники и
экологии, Ин-т ботаники им. Н. Г. Холодного НАН
Украины (ул. Терещенковская 2, 01004, Киев, Украина). E-mail: ya.didukh@gmail.com*

*Лисовский Сергей Антонович – д-р геогр. наук,
зам. директора, Ин-т географии НАН Украины (ул.
Владимирская, 44, 01030, Киев, Украина). E-mail:
salisovsky@gmail.com*

*Маруняк Евгения Александровна – д-р геогр.
наук, зав. сектором сбалансированного развития и
экологической оценки, Ин-т географии НАН Украины
(ул. Владимирская, 44, 01030, Киев, Украина). E-mail:
emgeooffice@gmail.com*

*Костиюшин Василий Анатолиевич – канд.
биол. наук, зав. отделом мониторинга и охраны жи-
вотного мира, Ин-т зоологии им И. И. Шмальгаузена
НАН Украины (ул. Богдана Хмельницкого, 15, 01030,
Киев, Украина). E-mail: v.kostiushyn@gmail.com*

*Yakiv P. Didukh – D.Sc. (Biology), Professor, Aca-
demician of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Head of Geobotany and Ecology Department, M. G. Kho-
lodny Institute of Botany National Academy of Sciences of
Ukraine (Tereshchenkivska Str. 2, 01004, Kyiv, Ukraine).
E-mail: ya.didukh@gmail.com*

*Sergii A. Lisovskyi – D.Sc. (Geography), Deputy
Director, Institute of Geography of the National Academy
of Sciences of Ukraine (Volodymyrska Str., 44, 01030
Kyiv, Ukraine). E-mail: salisovsky@gmail.com*

*Eugenia O. Maruniak – D.Sc. (Geography), Head of
Sustainable Development and Environmental Assessment
Section, Institute of Geography of the National Academy of
Sciences of Ukraine (Volodymyrska str, 44, 01030, Kyiv,
Ukraine). E-mail: emgeooffice@gmail.com*

*Vasyl A. Kostiushyn – Ph.D (Biology), Head of Ani-
mal Monitoring and Conservation Department, I. I. Schmal-
hausen Institute of Zoology of the National Academy of
Sciences of Ukraine (Bohdana Khmelnytskoho Str., 15,
01030, Kyiv, Ukraine). E-mail: v.kostiushyn@gmail.com*

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ УСТОЙЧИВОСТИ ОЗЕР БЕЛАРУСИ К ЭВТРОФИРОВАНИЮ

Н. Ю. Суховило, А. А. Новик

Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Аннотация. Статья посвящена оценке устойчивости водоемов к изменению параметров естественного режима и к антропогенной нагрузке. При ее расчете использована методика Е. А. Примак, адаптированная для водоемов Беларуси. На основании анализа 14 параметров естественного режима (морфометрические показатели и скорость внешнего и внутреннего водообмена) и характеристик качества среды (гидрохимические показатели) для 148 разнотипных озер рассчитаны интегральные индексы устойчивости водоемов к эвтрофированию. Описана разработанная авторами классификация озер Беларуси на основе величины интегрального индекса устойчивости к эвтрофированию, а также кластерного анализа. Среди всех водоемов выделены группы неустойчивых, среднеустойчивых и устойчивых. Выявлены пространственные закономерности распределения озер с различной степенью устойчивости. Создана схема зонирования территории Беларуси по устойчивости озер к эвтрофированию, включающая четыре отдельные области: водно-ледниковые, озерно-аллювиальные равнины и низменности с устойчивыми и среднеустойчивыми озерами; моренные возвышенности и равнины, камовые массивы с неустойчивыми озерами; моренные возвышенности с преимущественно неустойчивыми озерами; озерно-ледниковые, аллювиальные низменности, водно-ледниковые и моренные равнины с озерами различной степени устойчивости (преимущественно среднеустойчивыми).

Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании развития озер под влиянием естественных природных процессов, управлении озерными экосистемами, их рекультивации, а также в учебном процессе в области гидрологии суши, лимнологии, гидроэкологии.

Ключевые слова: озеро; устойчивость к эвтрофированию; водообмен; интегральный индекс устойчивости; классификация; зонирование.

Для цитирования. Суховило Н. Ю., Новик А. А. Пространственные особенности устойчивости озер Беларуси к эвтрофированию // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 51–65.

SPATIAL FEATURES OF RESISTANCE OF LAKES OF BELARUS TO EUTROPHICATION

N. Yu. Sukhovilo, A. A. Novik

Belarusian State University, Minsk, Belarus

Abstract. The article describes the assessing the resistance of water bodies to changes in the parameters of the natural regime and anthropogenic load. The calculation of resistance of lakes was made on the basis of the method of E. A. Primak, adapted for reservoirs of Belarus. Based on the analysis of 14 parameters of the natural regime (morphometric characteristics and speed of external and internal water exchange) and characteristics of environmental quality (hydrochemical indicators), integral indices of water resistance to eutrophication were calculated for 148 lakes of different types. The classification of Belarusian lakes developed by the authors on the basis of the value of the integral index of resistance to eutrophication, as well as cluster analysis is described. Three groups of lakes: unstable, moderately stable and stable were identified. Spatial patterns of the distribution of lakes with varying degrees of stability are revealed. A scheme of zoning of the territory of Belarus on the lake's resistance to eutrophication has been created. It includes four regions: fluvioglacial, limno-alluvial plains and lowlands with stable and medium-stable lakes; moraine ridges and plains, kama massives with unstable lakes; moraine ridges with predominantly unstable lakes; limnoglacial, alluvial lowlands, fluvioglacial and moraine plains with lakes of varying degrees of stability (mostly medium-stable).

The results obtained can be used to predict the development of lakes under the influence of natural processes, the management of lake ecosystems, their recultivation, as well as in the educational process in the field of hydrology, limnology, hydroecology.

Key words: lake; resistance to eutrophication; water exchange; integral index of resistance; classification; zoning.

For citation. Sukhovilo N. Yu., Novik A. A. Spatial features of resistance of lakes of Belarus to eutrophication. *Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 51–65.

Введение. В условиях изменений природной среды и интенсивной антропогенной нагрузки актуальным является сохранение водных экосистем. Определение допустимых норм воздействия на них невозможно без тщательного анализа взаимосвязи между всеми компонентами лимносистем и количественной оценки устойчивости к эвтрофированию.

Исследованию устойчивости озер к изменению параметров естественного режима и антропогенному эвтрофированию посвящено множество работ. При этом активно развивается теория существования нескольких устойчивых состояний озерной экосистемы, соответствующих разным трофическим уровням. Основными из них являются олиготрофное и эвтрофное, но в эвтрофном озере возможно несколько вариантов равновесного сочетания биотических и абиотических факторов [1–4]. Важным аспектом при этом является отсутствие на водосборе локальных источников загрязнения, постоянно действующих на экосистему и выводящих ее из естественного устойчивого состояния.

Наиболее обоснованная концепция устойчивости водных экосистем предложена В. Н. Михайловым и К. К. Эдельштейном, подразумевающими под устойчивостью водной экосистемы ее способность противостоять внешним естественным и антропогенным воздействиям и внутренним процессам, которые нарушают структуру и нормальное функционирование всей экосистемы или отдельно ее абиотической и биотической частей [5, 6]. Это определение устойчивости водных экосистем положили в основу своих исследований В. В. Дмитриев, А. Н. Огурцов, Е. А. Примак и др. Ими была разработана методика балльно-индексной и интегральной оценки устойчивости озер к эвтрофированию и их экологического благополучия. Авторы выделяют адаптационную устойчивость, свойственную водоемам и регенерационную, характерную для водотоков [7–10], что обусловлено различной скоростью возврата водных объектов в исходное состояние при прекращении антропогенного воздействия. Чем выше проточность, тем интенсивнее происходят вынос и окисление эвтрофирующих веществ.

Исследованию термической и экологической устойчивости озер Беларуси посвящены работы О. Ф. Якушко, Г. М. Базыленко и Л. В. Гурьяновой, Б. П. Власова, А. А. Новика и др. [11–16]. Устойчивость водоемов Беларуси к изменению природно-климатических условий и антропогенному воздействию оценивали, главным образом, с позиции влияния на нее морфометрии котловин и отдельных гидродинамических параметров. Интегральную оценку устойчивости озер Беларуси, имеющую конкретное количественное выражение и позволяющую более объективно сравнивать их по этому показателю, не производили. Поэтому данное направление исследований приобретает особую актуальность, так как позволяет помимо оценки естественной устойчивости водоемов разработать и классификацию озер Беларуси по величине интегрального индекса устойчивости к эвтрофированию. При высоких показателях устойчивости амплитуда колебаний параметров структуры лимностемы сокращается до минимальных значений и не выходит за определенные границы, которые, в свою очередь, находятся в поле постоянной эволюционной геоклиматической динамики территорий.

Цель исследования – разработать классификацию озер Беларуси по степени их устойчивости к эвтрофированию и зонирования территории по этому показателю.

Материалы и методы исследования. В качестве объектов исследования было выбрано 148 озер, расположенных на территории всех физико-географических провинций Беларуси, различающихся по генезису котловин, морфометрическим характеристикам и находящихся на различных стадиях эволюции. Исходными данными послужили материалы комплексного обследования озер Беларуси, проведенного НИЛ озероведения БГУ, фондовые данные Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды [17–19], а также материалы собственных полевых исследований авторов, позволившие актуализировать базу данных. Площади исследуемых озер изменяются от 0,027 км² у озера Святого, расположенного в Солигорском районе, до 79,6 км² у озера Нарочь, объемы – от 0,14 млн до 710,4 млн м³. Максимальные глубины колеблются от 0,6 м (озеро Судобле) до 53,6 м у озера Долгого (Глубокский район).

По величине минерализации исследованные водоемы существенно отличаются. Среди них присутствуют водоемы как с очень низкой, так и с высокой минерализацией. Она изменяется от 16,6 (озеро Большое Островито, Полоцкий район) до 407,2 (озеро Белое, Березовский район) мг/дм³. 50 % озер имеют повышенную (200–400 мг/дм³) и 39,8 % – среднюю (100–200 мг/дм³) минерализацию. Важным показателем при оценке экологического состояния водоема является его прозрачность. В летний период она колеблется от 0,3 (гипертрофные водоемы с нарушенным режимом) до 9,5 м (озеро Глубокое, Полоцкий район) [17].

В Поозерье расположено 117 озер, на возвышенностях и равнинах Центральной Беларуси – 7, на низменностях Полесья – 24. Картосхема расположения исследованных озер приведена на рис. 1.



Рис. 1. Расположение объектов исследования

Fig. 1. Location of studied lakes

Методика интегральной оценки устойчивости озер к эвтрофированию, предложенная Е. А. Примак [10] и основанная на применении метода рандомизированных сводных показателей (МРСП) [20], была адаптирована для водоемов Беларуси. Минимальные и максимальные значения количественных показателей, характерные для озер России, неприменимы к малым озерам Беларуси, поэтому при расчете были взяты региональные максимумы морфометрических, динамических и гидрохимических характеристик. Помимо этого, были изменены некоторые параметры. Среди критерииев оценивания устойчивости водоемов к изменению параметров естественного режима изменения коснулись устойчивости не учитывали их амплитуду. Показатель наличия либо отсутствия термической стратификации был заменен на величину термической устойчивости в летний период. Ее расчет производили с помощью термодинамической модели Lake Analyzer. Среднюю температуру водной массы в летний период не учитывали по причине сильной обратной корреляции с максимальной глубиной.

Набор критериев оценивания устойчивости водоемов к изменению параметров качества воды также был существенно изменен. Поскольку для большинства озер Беларуси отсутствуют данные о содержании взвешенных веществ, значения БПК₅ известны только для озер, на которых проводится мониторинг качества воды, при оценке устойчивости их не использовали. Вместо них учитывали общую минерализацию, pH, прозрачность и содержание биогенных элементов: азота нитратного и фосфора фосфатного. Перечень показателей, использованных для интегральной оценки устойчивости озер Беларуси к внешнему воздействию, а также пределы их колебаний, приведены в табл. 1.

Устойчивость озера к внешнему воздействию прямо пропорциональна его размерам. Чем больше площадь и объем водной массы, тем больше объем окислительной среды. Следовательно, большие по площади озера способны нейтрализовать больше загрязняющих веществ, поступающих с водосбора. Необходимость анализа максимальной глубины водоема при оценке его устойчивости к внешнему воздействию обусловлена ее использованием в расчете термической устойчивости.

Период водообмена определяет величину динамической и допустимой фосфорной нагрузки. Чем выше проточность озера, тем менее его экосистема уязвима к изменению факторов внешней среды, так как в нем не происходит аккумуляция загрязняющих веществ. Кроме этого, окислительная среда, формирующаяся из-за постоянного насыщения водной массы кислородом, способствует разложению органических и минеральных загрязнителей.

Таблица 1. Критерии интегральной оценки устойчивости озер Беларуси к внешнему воздействию и пределы их колебаний**Table 1. Criteria for an integral assessment of the resistance of Belarusian lakes to external effects and the limits of their fluctuations**

Параметр	Единица измерения	Min	Max
Площадь озера	км ²	0,027	79,6
Объем водной массы	млн м ³	0,14	710,4
Максимальная глубина	м	0,6	53,6
Удельная водообменность	—	0,02	34,63
Динамическая нагрузка	м ³ /м ²	0,1	48,8
Удельный водосбор	—	0,44	87,36
Термическая устойчивость водной массы в летний период	Дж/м ²	-0,2	1084,26
Прозрачность	м	0,3	9,5
Общая минерализация	мг/дм ³	16,6	407,2
Фосфаты	мг/дм ³	0	3,57
Нитраты	мг/дм ³	0,001	1,8
Аммоний-ион	мг/дм ³	0,001	3,9
Бихроматная окисляемость	мгО ₂ /дм ³	5,75	129,3
pH	—	4,5	9,5

От площади, структуры водосбора и характера его использования в хозяйственной деятельности зависят состав и объем поступающих в озеро веществ. Если водосбор малого озера занимает большую площадь и активно используется в сельском хозяйстве, скорость эвтрофирования водоема значительно возрастает. При наличии на водосборах локальных источников загрязнения озера способны очень быстро переходить на более высокий трофический уровень. Примерами таких водоемов являются Кагальное, Миорское, Болойко и др.

Малые водосборы, покрытые лесом, способствуют сохранению свойств озерной экосистемы на протяжении длительного времени. В таких водоемах высокая прозрачность, небольшой показатель цветности, а сами они, несмотря на максимальные глубины не более 15 м, находятся в мезотрофном состоянии (Глубокое, Чербомысле, Большое Островито). Заболоченность водосбора также является препятствием для его хозяйственного освоения.

Непосредственное влияние на способность водоема противостоять внешнему воздействию оказывает его термический режим, неразрывно связанный как с зональными климатическими, так и с морфометрическими характеристиками. Наличие и длительность различных периодов годового термического цикла, а также температура эпилимниона обусловлены географическим положением озера, в то время как на среднюю температуру воды, стратифицированность и термическую устойчивость значительное влияние оказывают морфометрические характеристики котловины. Озерами с наличием температурной стратификации считаются озера с разницей поверхностных и придонных температур в летний период 5 °С и более. Средняя глубина в них изменяется в зависимости от открытости котловины и колеблется от 3 до 8,9 м. Согласно термической классификации озер Беларуси О. Ф. Якушко они относятся к небольшим глубоким озерам, частично – к большим среднеглубоким (Нарочь, Мядель) и небольшим средне- и неглубоким водоемам [11]. Им соответствуют метагипотермические и гипотермические озера в классификации А. И. Тихомирова, а также термически очень глубокие, глубокие и среднеглубокие в классификации В. Хомсика [21].

Наличие термической стратификации и высокая термическая устойчивость не способствуют обмену веществом и энергией между слоями. В результате поступающие с водосбора вещества не распределяются равномерно по всему объему воды, а скапливаются у ее поверхности, что может негативным образом сказываться на прозрачности озера и условиях среды обитания гидробионтов. Поэтому, чем сильнее стратифицирована водная масса, тем ниже ее устойчивость к внешнему воздействию.

Прозрачность воды является внешним признаком, который позволяет достаточно быстро оценить трофический статус водоема, и определяется содержанием взвешенных частиц, биомассой фитопланктона и деятельностью других живых организмов, например, моллюска-фильтратора дрейссены.

Общая минерализация и состав вод зависят, главным образом, от географического положения, определяющего соотношение осадков и испарения, однако в последние десятилетия хозяйственная деятельность человека стала более значимой, чем природно-климатические условия на водосборе. По величине минерализации большинство исследованных озер относится к среднеминерализованным, однако влияние подстилающих пород и антропогенное воздействие обеспечивают заметный

диапазон ее колебаний. Согласно гидрохимической классификации О. А. Алекина, все озера относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы.

Водородный показатель является важной характеристикой водной среды и отражает характер протекания внутриводоемных процессов. В озерах Беларуси активная реакция среды определяется в основном соотношением карбонатов, бикарбонатов, углекислого газа и органических кислот. В большинстве изученных озер на протяжении года в поверхностном слое показатель pH колеблется от нейтрального до слабощелочного. На заболоченных территориях встречаются озера со слабокислой (< 7,0) реакцией среды. Водоемы, подвергшиеся антропогенному эвтрофированию, в летний период имеют pH > 9,0. По вертикальному разрезу в направлении от поверхности ко дну наблюдаются кислотности, однако выражены они неодинаково.

Концентрация фосфатов является индикатором трофического статуса озера и в значительной степени влияет на развитие высшей водной растительности и фитопланктона. Содержание нитрат-иона также определяет продуктивность водоема, хотя и в меньшей степени, чем соединения фосфора.

Важнейшим показателем состояния озерной экосистемы является содержание в воде аммоний-иона. При переходе озер на более высокий трофический уровень возрастает не только концентрация ионов аммония, но и их доля в общем балансе связанного азота. Повышенная концентрация ионов аммония может быть использована в качестве индикатора, отражающего ухудшение экологического состояния водного объекта, процесса загрязнения поверхностных вод, в первую очередь бытовыми стоками и стоками с сельскохозяйственных угодий [22].

Бихроматная окисляемость отражает содержание в воде органического вещества и представляет собой количество кислорода, необходимое для его окисления. Величина окисляемости связана с зональными климатическими особенностями, а также является результатом антропогенного воздействия на водные экосистемы [22].

Оценка устойчивости водных объектов к повышению трофического статуса осуществлялась в шесть этапов. На первом этапе была отобрана обоснованная система критериев состояния биоты и абиотической среды, при использовании которой возможно диагностирование экологического состояния водной экосистемы. При этом нужно стремиться к тому, чтобы каждый из параметров был необходим, а все параметры вместе были достаточны для описания качества рассматриваемой системы. Все характеристики делятся на два типа. Увеличение значений характеристики первого типа приводит к улучшению состояния экосистемы (например, прозрачность), а рост значения характеристики второго типа – к его ухудшению. Кроме того, существуют характеристики, критические значения которых (значение pH = 7,0) разбивают шкалу изменений характеристики на два интервала с противоположными свойствами влияния переменной на состояние объекта. На этом же этапе вводились классы устойчивости и производился анализ диапазонов измерения исследуемых параметров [10].

На втором этапе осуществлялось нормирование исходных характеристик. Наиболее устойчивому состоянию по каждому критерию соответствует значение равное 1, наименее устойчивому – равное 0. Такое преобразование выполняется следующим образом.

Для критериев первого типа использовали правило перевода в виде

$$q_i = q_i x_i = \begin{cases} 1, & \text{при } x_i \leq \min_i \\ \left(\frac{x_i - \min_i}{\max_i - \min_i} \right)^\lambda & \text{при } \min_i \leq x_i \leq \max_i, \\ 0, & \text{при } x_i > \max_i \end{cases} \quad (1)$$

для критериев второго типа –

$$q_i = q_i x_i = \begin{cases} 0, & \text{при } x_i \leq \min_i \\ \left(\frac{\max_i - x_i}{\max_i - \min_i} \right)^\lambda & \text{при } \min_i \leq x_i \leq \max_i, \\ 1, & \text{при } x_i > \max_i \end{cases} \quad (2)$$

где q – нормированное значение параметра; x_i – текущее значение критерия; \max_i (\min_i) – максимальное (минимальное) встречающееся значение критерия; λ – параметр, определяющий конкретный вид функций (1) и (2): ($\lambda < 1$ – выпуклость вверх, $\lambda > 1$ – выпуклость вниз). В данном случае $\lambda = 1$, так как,

согласно исследованию Е. А. Примак, учет нелинейности лишь незначительно влияет на точность расчетов.

Диапазон изменения q_i всегда находится в пределах от 0 до 1. Таким образом, исходные параметры в различных шкалах измерения приводятся к единой безразмерной шкале, после чего над их значениями можно производить математические действия с целью получения интегрального показателя. На этом этапе также задавались минимальные и максимальные значения параметров. Для этого использовались минимальное и максимальное значения из каждой оценочной шкалы исходных характеристик.

На третьем этапе был выбран вид интегрального показателя $Q(q, w)$. Показатель Q строится таким образом, что зависит не только от показателей q_i , но и от их значимости, определяемой весовыми коэффициентами w_i , сумма которых должна равняться 1,0 ($0 \leq w_i \leq 1$). В качестве выражения для интегрального показателя чаще всего используют линейную (или нелинейную) свертку показателей вида

$$Q = Q(q, w) = q(q_1 \dots q_m, w_1 \dots w_m) = \sum_{i=1}^m q_i w_i, \quad (3)$$

представляющую собой взвешенное среднее арифметическое значений показателей q_i и определяемую вектором параметров $w = (w_1 \dots w_m)$, неотрицательными компонентами которого являются весовые коэффициенты, задающие значимость отдельных критериев для интегральной оценки уровня устойчивости. Введение дополнительного условия нормировки весов ($w_1 + \dots + w_m = 1$) позволяет принять значение параметра w как оценку относительной значимости показателя q_i .

На четвертом этапе были введены оценки весовых коэффициентов w_i . Как правило, составление плана оценочных исследований само является первичным «взвешиванием» параметров, компонентов и их свойств. Однако его недостаточно, так как влияние отобранных факторов неравнозначно, в результате чего возникает необходимость введения разных коэффициентов значимости.

Вес отдельных показателей приведен в табл. 2.

Таблица 2. Весовые коэффициенты отдельных показателей, использованные при оценке устойчивости озер Беларуси к внешнему воздействию

Table 2. Weights of indicators used in assessing of the resistance of lakes of Belarus to external impacts

Критерии оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного режима							
Показатель	Площадь	Объем	Максимальная глубина	Период водообмена	Динамическая нагрузка	Удельный водосбор	Термическая устойчивость в летний период
Вес	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Критерии оценки устойчивости водоемов к изменению параметров качества воды							
Показатель	Прозрачность	Общая минерализация	pH	PO ₄ ³⁻	NO ₃ ²⁻	NH ₄ ⁺	Бихроматная окисляемость, мг O ₂ /дм ³
Вес	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2

На шестом этапе по имеющимся данным определяли значения интегрального показателя по правилам построения основной модели-классификации [10]. Группы показателей также имели неодинаковый вес, поэтому при построении интегрального индекса устойчивости сводному показателю первой группы критериев был присвоен вес, равный 0,7, второй группе критериев – вес, равный 0,3.

На пятом этапе для левой и правой границ каждого класса по утвержденным правилам были рассчитаны значения интегрального показателя Q и построена оценочная шкала для него.

При этом в МРСП переход к $Q(q; I) = MQ(q; I)$ реализуется так, что

$$\bar{Q}^{(i)}(I) = \bar{Q}(q^{(j)}; I) = \bar{Q}(q^{(i)}; \bar{w}(I)) = \frac{1}{N(m, n, l)} \sum_{i=1}^{N(m, n, l)} \left[Q^{(t)}(q^{(j)}) \right] \quad (4)$$

с оценкой точности $Q(q; I)$:

$$\left[S^{(j)}(I) \right]^2 = \frac{1}{N(m, n, l)} \sum_{i=1}^{N(m, n, l)} \left[Q^{(t)}(q^{(j)}) - \bar{Q}^{(j)} I \right]^2. \quad (5)$$

Классификацию на основе рассчитанных индексов устойчивости сравнивали с результатами, полученными на основе иерархического кластерного анализа с применением аналогичных критериев оценивания. В качестве меры близости было использовано Евклидово расстояние, в качестве алгоритма объединения – метод Варда. Индексы устойчивости отражают адаптационную устойчивость, при кластерном анализе в отдельный кластер обособляются озера с высокой регенерационной устойчивостью. Итоговая классификация является синтезом двух исходных классификаций и позволяет устранить неточности, возникающие при использовании каждого из описанных подходов.

Таблица 3. Значения интегрального индекса устойчивости исследованных озер к эвтрофированию

Table 3. The values of the integral index of the resistance of the studied lakes to eutrophication

Класс устойчивости	Устойчивые	Среднеустойчивые	Неустойчивые
Значения интегрального индекса устойчивости	Выше 0,530	0,416–0,530	Ниже 0,416
Количество озер	36	89	23
Процент	24,3	60,1	15,5

Результаты и их обсуждение. В результате было выделено три группы водоемов по величине интегрального индекса устойчивости к эвтрофированию: устойчивые, среднеустойчивые и неустойчивые. Первая группа включает в себя неустойчивые водоемы с индексом устойчивости ниже 0,416. Она представлена небольшими по площади водоемами с глубокими ложбинными и эворзионными котловинами (Болдук, Рудаково, Долгое (Глубокский район), Глубля), как показано на рис. 2, 3. При наличии локальных источников загрязнения они быстро переходят на более высокий трофический уровень, а их устойчивость резко возрастает. Возврат в исходное состояние в случае прекращения антропогенного воздействия практически невозможен, что отражает рис. 2.

Для среднеустойчивых озер второй группы характерны индексы устойчивости от 0,417 до 0,530. Среди них преобладают среднеглубокие и мелководные водоемы (Недрово, Плавно, Любань, Ореховское). К этой группе также относится ряд глубоководных озер с достаточно интенсивным вертикальным (Ричи) или горизонтальным (Сарро, Вечелье) водообменом. Локальные источники загрязнения действуют на них не так сильно, как на озера предыдущей группы, а естественное восстановление их экосистем протекает быстрее.

Третья группа характеризуется индексами устойчивости озер от 0,531 до 0,857. В ней преобладают водоемы с большой площадью и объемом водной массы. Примерами таких озер могут служить Дривяты, Струсто, Нарочь. Озера, подвергшиеся интенсивному антропогенному эвтрофированию с высоким содержанием загрязняющих веществ: (Болойсо, Великое, Белое (Березовский район) Березовское (Глубокский район) также характеризуются высоким значением интегрального индекса устойчивости, но она не является их природной особенностью, а приобретена в условиях высокой биогенной нагрузки.

Результаты кластерного анализа оказались схожими с результатами классификации на основе индекса устойчивости. В итоге также было выделено три кластера, отраженные на рис. 3. Первый из них включает небольшие по площади чистые озера и озера с большими глубинами и очень слабым вертикальным и горизонтальным водообменом. Они наиболее уязвимы к антропогенному воздействию и быстро переходят на высший трофический уровень, который сохраняется при прекращении воздействия. Примерами водоемов этой группы являются Троща, Рудаково, Болдук, Чербомысле. Все они расположены на севере Беларуси. При наличии локальных источников воздействия они являются очень уязвимыми для эвтрофирования, что можно проследить на примере озера Болойсо, которое в период, предшествовавший интенсивному антропогенному воздействию, также относилось к этой группе. Возврат к исходному трофическому уровню после прекращения поступления загрязняющих веществ крайне затруднителен или даже невозможен. В целом первый кластер неустойчивых озер больше, чем группа с невысокими индексами устойчивости.

Второй кластер формируют средние по размерам проточные слабоэвтрофные (Плисса (бассейн р. Мнота), Недрово и др.) озера севера и малые высокоэвтрофные водоемы юга Беларуси (Олтуш, Святое, Песчаное). В первых не происходит аккумуляция приносимых с водосбора веществ, поэтому они отличаются слабой уязвимостью к эвтрофированию. Озера Полесья достигли высокого трофического уровня в ходе своей эволюции и антропогенного воздействия на их водосборы, поэтому повышение их трофического статуса крайне затруднительно. Однако из-за небольшого объема водной массы они менее устойчивы к изменению параметров внешней среды, чем водоемы третьей группы.

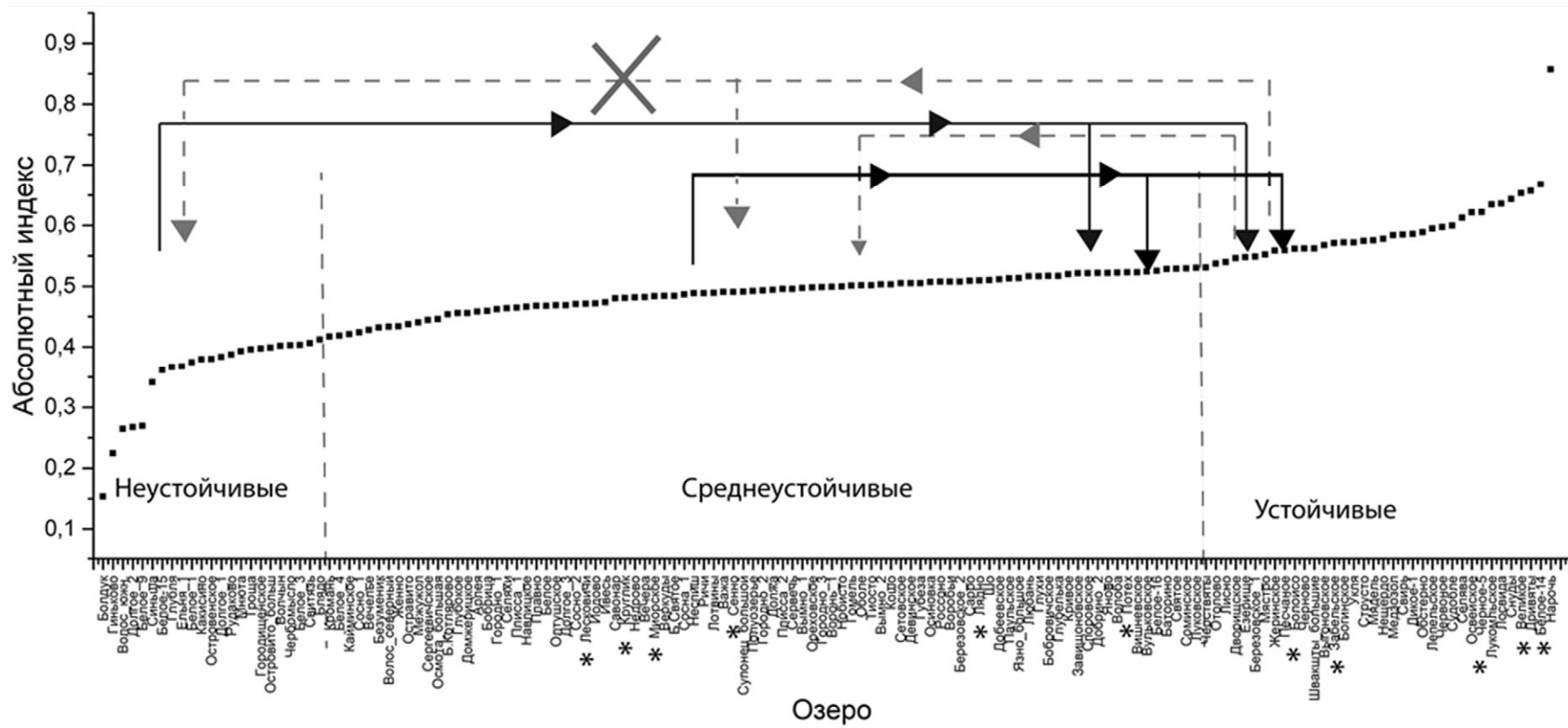


Рис. 2. Динамика устойчивости озер Беларуси, основанной на значениях интегральных индексов устойчивости к эвтрофированию.
На схеме черными стрелками обозначен переход в группу более устойчивых при усилении внешнего воздействия, серыми пунктирными стрелками – переход в группу менее устойчивых при его ослаблении; *озера, подвергшиеся антропогенному эвтрофированию

Fig. 2. Dynamics of the stability of the lakes of Belarus, based on the values of the integral indices of resistance to eutrophication.
In the diagram, the black arrows indicate the transition to the group that is more stable when the external influence is intensified; gray dashed arrows indicate transition to a less stable group when it is weakened; *anthropogenically disturbed lakes

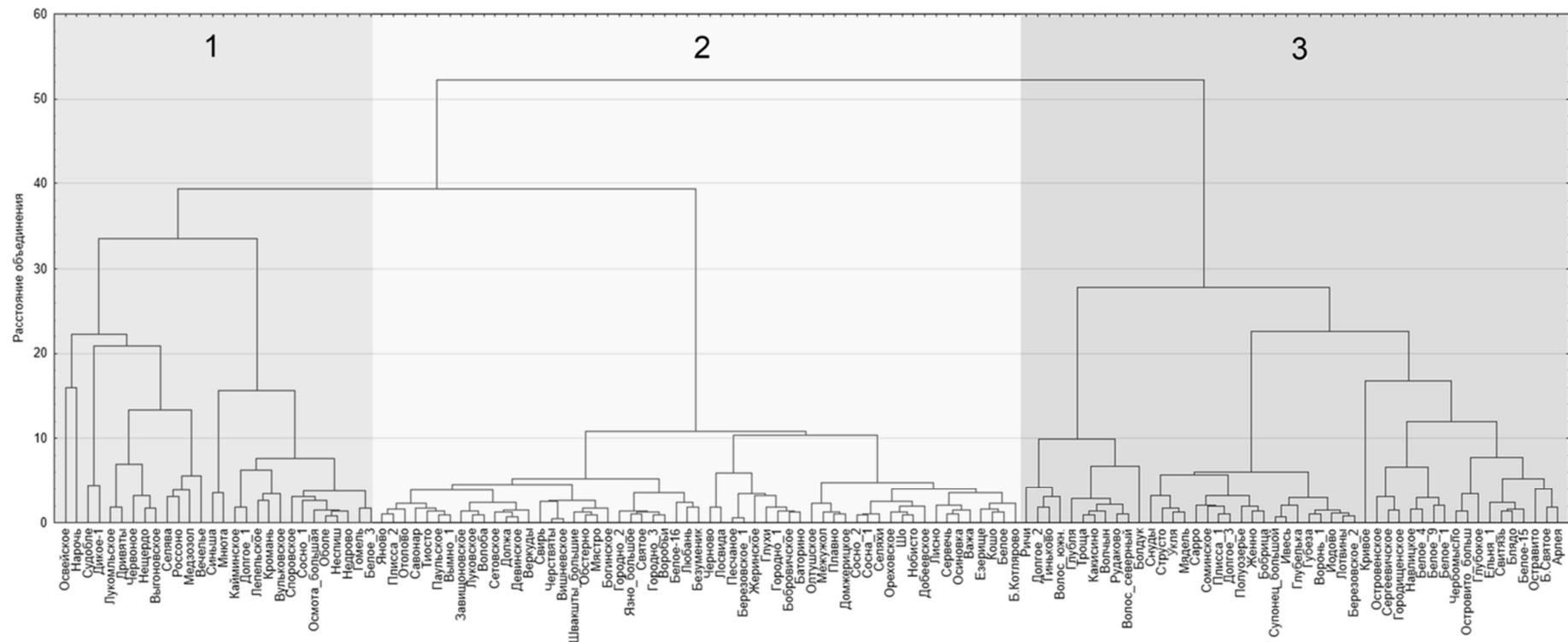


Рис. 3. Результаты классификации озер Беларуси по степени устойчивости к эвтрофированию.

Дендрограмма для 136 наблюдений (исключены озера, подвергшиеся антропогенному эвтрофированию). Мера близости – Евклидово расстояние.

Алгоритм объединения – метод Варда. Кластеры: 1 – устойчивые озера, 2 – среднеустойчивые, 3 – неустойчивые

Fig. 3. The results of classification of Belarusian lakes according to the degree of resistance to eutrophication
Dendrogram for 136 observations (anthropogenically disturbed lakes are excluded). The measure of proximity is the Euclidean distance.

Третью группу формируют озера с большой площадью и объемом (Нарочь, Дривяты, Лукомское, Освейское, Выгонощанское и др.), а также небольшие озера с интенсивным водообменом (Синьша, Мнюта, Гомель). Это водоемы с наибольшей устойчивостью, которые в случае непролongительного антропогенного воздействия быстро возвращаются к исходному трофическому состоянию. Сравнение результатов классификаций с использованием кластерного анализа и на основе рассчитанных значений индекса устойчивости в целом показало близкие результаты. Однако они по-разному интерпретируют некоторые особенности озер. Необходимо отметить, что устойчивость проточных озер отличается от устойчивости слабопроточных. В первом случае можно говорить о регенерационной устойчивости, характерной в большей степени для водотоков, во втором – об адаптационной, являющейся отличительной чертой водоемов. Так, согласно результатам расчета индекса устойчивости, некоторые слабоэвтрофные озера с большими водосборами и интенсивным водообменом оказались в группе неустойчивых (Синьша, Белое (Брестский район), Мнюты). При использовании кластерного анализа в качестве инструмента классификации данные водоемы относятся к устойчивым. Они являются проточными, поэтому загрязняющие вещества, попадающие в них с территории водосборов, выносятся и не аккумулируются в водной массе. Однако из-за небольшого объема воды в итоговой классификации они принадлежат к группе среднеустойчивых.

Отдельные водоемы с большими водосборами, обусловливающими поступление значительного количества растворенных веществ, отнесенные при кластерном анализе к устойчивым, являются среднеустойчивыми, так как небольшие площади и объемы воды не способствуют быстрому разложению значительных объемов биогенных веществ, поступающих с водосборов. Примерами таких озер могут служить Большая Осмута, Оболе, Споровское и др. Их регенерационная устойчивость ниже за счет высокого содержания биогенных элементов. Из этого следует, что как кластерный анализ, так и расчет индексов устойчивости, имеют свои достоинства и недостатки, но их совместное использование позволяет устранить разнотечения в определении критериев устойчивости озер к эвтрофированию. В пространственном распределении озер по устойчивости к эвтрофированию можно выделить следующие особенности. Максимальную устойчивость имеет озеро Нарочь, расположенное на северо-западе Беларуси. Здесь же находятся другие водоемы с высокой устойчивостью: Дривяты, Снуды, Струсто. Однако в Поозерье представлены водоемы с различным уровнем устойчивости, в том числе с минимальными (около 0,15 для озера Болдук) и максимальными расчетными значениями.

Устойчивость озер с различным трофическим статусом также неодинакова. Наибольшей вариативностью устойчивости к эвтрофированию обладают мезотрофные озера. В этой группе находятся озера как с самым высоким (0,86), так и с самым низким индексом устойчивости (0,15). Однако в среднем устойчивость мезотрофных озер ниже, чем эвтрофных и дистрофных, о чем свидетельствует рис. 4. Устойчивость эвтрофных водоемов меняется значительно меньше – от 0,34 у озера Синьша до 0,67 у озера Белого, являющегося водоемом-охладителем Березовской ГРЭС. Самым узким диапазоном изменения устойчивости (от 0,37 у озера Ельня до 0,6 у озера Судобле) характеризуются дистрофные озера. Озера с экстремальными значениями индексов устойчивости принадлежат к разным подтипам. Ельня является остаточным озером на месте Полоцкого приледникового водоема. В цикле его развития не было эвтрофной стадии. Озеро Судобле находится южнее границы поозерского оледенения, а его формирование протекало в перигляциальных условиях.

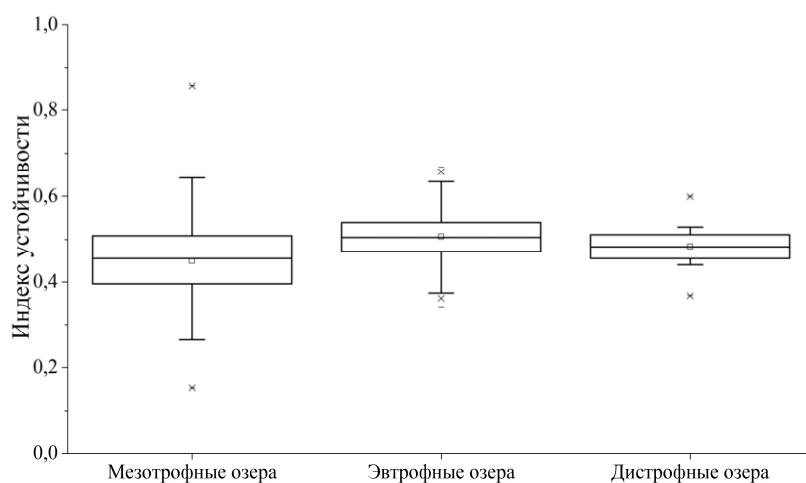


Рис. 4. Диапазон изменчивости индексов устойчивости к эвтрофированию в озерах с различным трофическим статусом

Fig. 4. The range of variability of the indices of resistance to eutrophication in lakes with different trophic status

При сравнении озер Поозерья и Полесья было выявлено, что последние при схожих морфометрических параметрах котловины более устойчивы к антропогенной нагрузке за счет более высокого трофического статуса и содержания растворенных веществ.

На устойчивость водоемов к изменению параметров внешней среды сильное влияние оказывают размеры и ландшафтная структура водосборов. Расчлененный рельеф с большим количеством локальных водоразделов, характерный для краевых ледниковых возвышенностей и гряд, не способствует формированию больших водосборов. Следовательно, водообмен в таких водоемах, как правило, очень медленный. Поэтому основой для создания зонирования территории Беларуси по степени устойчивости озер к эвтрофированию стала геоморфологическая карта, помещенная в Национальный атлас Беларуси [23]. Всего были выделены четыре отдельные области: водно-ледниковые, озерно-аллювиальные равнины и низменности с устойчивыми и среднеустойчивыми озерами; моренные возвышенности и равнины, камовые массивы с неустойчивыми озерами; моренные возвышенности с преимущественно неустойчивыми озерами; озерно-ледниковые, аллювиальные низменности, водно-ледниковые и моренные равнины с озерами различной степени устойчивости (преимущественно среднеустойчивыми).

При исследовании распределения озер с различной степенью устойчивости в зависимости от генезиса и возраста рельефа было выявлено, что наименьшая устойчивость характерна для водоемов, расположенных в пределах моренных возвышенностей, моренных равнин сожского возраста и камовых массивов. Доля неустойчивых озер здесь достигает 100 %. Преимущественно среднеустойчивые озера находятся на аллювиальных, озерно-ледниковых низменностях, а также водно-ледниковых и донно-моренных равнинах поозерского возраста. В пределах этих территорий присутствуют водоемы с различной степенью устойчивости, однако доля среднеустойчивых меняется от 50,0 до 87,5 %. Наиболее устойчивыми являются озера, расположенные на водно-ледниковых равнинах сожского возраста и озерно-аллювиальных низменностях. Пространственные закономерности распределения озер по степени устойчивости к эвтрофированию отражает рис. 5. В ходе анализа



Рис. 5. Распределение озер с различной степенью устойчивости к эвтрофированию в соответствии с типом рельефа

Fig. 5. The distribution of lakes with varying degrees of resistance to eutrophication in accordance with the type of relief

распределения озер с различной степенью устойчивости к эвтрофированию по территории физико-географических провинций были выявлены следующие закономерности. В пределах Поозерской провинции преобладают неустойчивые и среднеустойчивые водоемы. Самые большие озера (Освейское, Нарочь, Езерище, Снуды и др.) относятся к устойчивым с расчетными значениями индексов, равными 0,547–0,857, однако их доля невысока. На озерно-ледниковых низменностях она достигает 18,5 %, на конечно-моренных возвышенностях – 6,3 %. Доля неустойчивых озер, наоборот, повышается вместе с ростом гипсометрического уровня и на камовых массивах достигает 66,7 %. В пределах моренных возвышенностей она несколько ниже, но именно здесь озера наиболее разнообразны как по генезису и морфометрическим особенностям, так и по гидрохимическим характеристикам, что обеспечивает широкий диапазон колебания устойчивости водоемов к повышению трофического уровня. Минимальная доля неустойчивых озер (10,7 %) в Поозерье характерна для водно-ледниковых равнин.

В Западно- и Восточнобелорусской провинциях устойчивые озера отсутствуют, так как немногочисленные существующие здесь водоемы небольшие по площади и объему водной массы. На равнинах здесь преобладают среднеустойчивые водоемы, на возвышенностях – неустойчивые (Свитязь). Однако общее количество озер здесь небольшое, поэтому детальный анализ пространственной динамики устойчивости озер затруднителен. Озера водно-ледниковых равнин и низменностей Предполесья относятся к классу устойчивых (Судобле с индексом устойчивости 0,599 и Дикое с индексом, равным 0,585) и среднеустойчивых (Глухи, Сергеевичское). Этому способствуют мелководность озер и значительные по площади водосборы, создающие условия для интенсивного вертикального и горизонтального водообмена, благодаря чему происходит равномерное распределение эвтрофирующих веществ по всей водной массе и их последующее окисление.

На Полесье встречаются озера всех классов устойчивости при преобладании среднеустойчивых. Значительные различия в высотном положении и вертикальном расчленении водосборов озер здесь отсутствуют, поэтому важная роль в формировании сопротивляемости озер к воздействию внешних факторов принадлежит морфометрии и гидрохимическим особенностям. К классу неустойчивых водоемов относятся озера Безуменник и Белое в Ивановском районе, а также Городищенское в Пинском (находятся они на аллювиальных низменностях), к классу устойчивых – значительные по площади озера-разливы Выгонощанское и Червоное, расположенные на озерно-аллювиальных низменностях. Все остальные озера, приуроченные к водно-ледниковым, аллювиальным и озерно-аллювиальным низменностям и равнинам, являются среднеустойчивыми.

Заключение. Сравнение результатов классификаций с использованием кластерного анализа и на основе рассчитанных значений индекса устойчивости в целом показало близкие результаты. Однако, они по-разному интерпретируют особенности водообмена и химического состава воды озер, а также их адаптационную и регенерационную устойчивость.

Так, некоторые слабоэвтрофные озера с большими водосборами и интенсивным водообменом (Белое (Брестский район), Мнюта), согласно результатам расчета индекса устойчивости, оказались в группе неустойчивых, а при использовании кластерного анализа в качестве инструмента классификации были отнесены к группе устойчивых. Отличительной особенностью этих проточных водоемов является то, что загрязняющие вещества, попадающие в них с территории водосборов, выносятся и не аккумулируются в водной массе. В результате их устойчивость является не адаптационной, как у большинства озер, а регенерационной, характерной для водотоков. Так как объем воды в них небольшой, согласно итоговой классификации такие озера будут относится к группе среднеустойчивых.

Другая группа озер с малым периодом водообмена и высоким содержанием растворенных веществ (Большая Осмота, Споровское и др.) по результатам расчета индекса устойчивости отнесены к среднеустойчивым, по результатам кластерного анализа – к устойчивым. За счет большой концентрации биогенных элементов и компонентов минерализации их способность к регенерации ниже, чем у озера Синьша. Сопоставление результатов классификации позволило отнести эти озера к среднеустойчивым. Из этого следует, что оба метода имеют свои достоинства и недостатки, но их совместное использование позволяет устранить существующие неточности в определении устойчивости озер к эвтрофированию.

В пространственном распределении озер с различной устойчивостью к эвтрофированию выявлена зависимость величины интегрального индекса устойчивости от морфологии и типа рельефа, в котором расположен водоем. Именно эти показатели обусловливают физико-географические особенности водосборов и морфологию котловин. На равнинах и низменностях различных генетических типов преобладают мелководные озера со значительными по площади водосборами, поэтому они обладают высокой скоростью водообмена, а вертикальная стратификация водных масс в них не выражена. Водоемы, расположенные в пределах ледниковых возвышенностей, имеют укрытые котловины и небольшие по площади водосборы. Следовательно, перемешивание водной массы и внешний водообмен в них происходят медленно, а процесс антропогенного эвтрофирования протекает более интенсивно.

Полученные результаты могут быть использованы при прогнозировании развития озер под влиянием естественных природных процессов и антропогенного фактора, управлении озерными экосистемами, их рекультивации, для природоохранных и рекреационных целей, а также в образовательном процессе в области гидрологии суши, лимнологии, гидроэкологии.

Список использованных источников

1. Scheffer, M. Alternative Attractors of Shallow Lakes / M. Scheffer // The Scientific World. – 2001. – № 1. – Pp. 254–263.
2. Scheffer, M. Alternative equilibria in shallow lakes / M. Scheffer [et al.] // Trends in Ecology and Evolution. – 1993. – Vol. 8, Issue 8. – Pp. 275–279.
3. Jeppesen, E. The ecology of shallow lakes – trophic interactions on the pelagic / E. Jeppesen. – Silkeborg : National Environmental Research Institute, 1998. – 420 p.
4. Scheffer, M. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation / M. Scheffer, S. Carpenter // Trends in Ecology and Evolution. – 2003. – Vol. 18, № 12. – Pp. 15 – 22.
5. Михайлов, В. Н. Оценка устойчивости и уязвимости водных экосистем с позиций гидроэкологии / В. Н. Михайлов, К. К. Эдельштейн // Вестник Московского университета. Сер. 5 : География. – 1996. – № 3. – С. 27–35.
6. Даценко, Ю. С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты / Ю. С. Даценко. – М. : ГЕОС, 2007. – 252 с.
7. Дмитриев, В. В. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картиграфированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. I. Интегральная оценка устойчивости наземных и водных геосистем / В. В. Дмитриев, А. Н. Огурцов // Вестник Санкт-Петербургского университета, 2012. – Сер. 7, вып. 3. – С. 65–78.
8. Дмитриев, В. В. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картиграфированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. II. Методы интегральной оценки устойчивости наземных и водных геосистем / В. В. Дмитриев, А. Н. Огурцов // Вестник Санкт-Петербургского университета, 2013. – Сер. 7, вып. 3. – С. 88–103.
9. Дмитриев, В. В. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картиграфированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. Ч. IV : Интегральная оценка экологического благополучия наземных и водных геосистем / В. В. Дмитриев, И. В. Федорова, А. С. Бирюкова // Вестник СПбГУ, 2016. – Сер. 7, вып. 2. – С. 37–53.
10. Примак, Е. А. Интегральная оценка устойчивости и экологического благополучия водных объектов : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.36 / Е. А. Примак. – СПб., 2009. – 24 с.
11. Якушко, О.Ф. Белорусское Поозерье / О. Ф. Якушко. – Минск, 1971. – 334 с.
12. Якушко, О. Ф. Проблемы экологической устойчивости ледниковых ложбинных озер Белорусского Поозерья / О. Ф. Якушко, А. А. Новик // Вестник БГУ, Сер. 2. – 2005. – № 1. – С. 55–59.
13. Власов, Б. П. Антропогенная трансформация озер Беларусь: геоэкологическое состояние, изменения и прогноз / Б. П. Власов. – Минск : БГУ, 2004. – 207 с.
14. Гурьянова Л. В. Оценка гидродинамических факторов малых эвтрофных озер Белоруссии / Л. В. Гурьянова, Г. М. Базыленко // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 1985. – № 2. – С. 60–64.
15. Гурьянова, Л. В. Гидродинамическая оценка устойчивости водных экосистем малых озер к эвтрофированию / Л. В. Гурьянова, Г. М. Базыленко // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. – 1986. – № 3. – С. 73–76.
16. Суховило, Н. Ю. Динамические критерии оценки устойчивости озерных экосистем Белорусского Поозерья к внешнему воздействию / Н. Ю. Суховило, Б. П. Власов, А. А. Новик // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. – 2018. – № 2. – С. 13–24.
17. Власов, Б. П. Озера Беларусь : справочник / Б. П. Власов [и др.]. – Минск : РУП «Минсктиппроект», 2004. – 284 с.
18. Государственный водный кадастровый реестр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод. – Минск, 1978–2016. – Т. 3.
19. Ежегодник качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям на территории Республики Беларусь. – Минск, 1983–2015.
20. Хованов, Н. В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците / Н. В. Хованов. – СПб. : Издательство Санкт-Петербургского университета, 1996. – 196 с.
21. Теоретические вопросы классификации озер / Н. П. Смирнова [и др.] – СПб. : Наука, 1993. – 192 с.
22. Логинова, Е. В. Гидроэкология : курс лекций / Е. В. Логинова, П. С. Лопух. – Минск : БГУ, 2011. – 300 с.
23. Нацыянальны атлас Беларусі / рэдкал.: М. У. Мясніковіч [і інш.]. – Мінск : Камітэт па зямельных рэсурсах, геадэзіі і картаграфії пры Савецце Міністраві Рэспублікі Беларусь, 2002. – 299 с.

References

1. Scheffer M. Alternative Attractors of Shallow Lakes. The Scientific World. 2001. no 1, pp. 254–263.
2. Scheffer M., Hosper S. H., Meijer M.-L., Moss B. and Jeppesen E. Alternative equilibria in shallow lakes. Trends in Ecology and Evolution. 1993. Vol. 8, Iss. 8, pp. 275–279.

3. Jeppesen E. The ecology of shallow lakes – trophic interactions on the pelagial. Silkeborg: National Environmental Research Institute, 1998. 420 p.
4. Scheffer M., Carpenter S. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. Trends in Ecology and Evolution. 2003. Vol. 18, no 12, pp. 15–22.
5. Mikhaylov V. N., *Otsenka ustoychivosti i uyazvimosti vodnykh ekosistem s pozitsiy gidroekologii* [Assessment of the sustainability and vulnerability of aquatic ecosystems from the standpoint of hydroecology]. Vestnik Moskovskogo universiteta = Bulletin of Moscow University, 1996. no 3, pp. 27–35 (in Russian).
6. Datsenko Yu. S. *Evtrofirovaniye vodokhranilishch. Gidrologo-gidrokhimicheskiye aspeky* [Eutrophication of water reservoirs. Hydrological and hydrochemical aspects]. Moscow, GEOS Publ., 2007. 252 p. (in Russian).
7. Dmitriev V. V., Ogurtsov A. N. *Podkhody k integralnoy otsenke i GIS-kartografirovaniyu ustoychivosti i ekologicheskogo blagopoluchiya geosistem I Integralnaya otsenka ustoychivosti nazemnykh i vodnykh geosistem* [Approaches to integrated assessment and GIS mapping of sustainability and ecological well-being of geosystems. I. Integral assessment of the resistance of terrestrial and aquatic geosystems]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta = Bulletin of St. Petersburg University, 2012, vol. 7, iss 3, pp. 65–78 (in Russian).
8. Dmitriev V. V., Ogurtsov A. N. *Podkhody k integralnoy otsenke i GIS-kartografirovaniyu ustoychivosti i ekologicheskogo blagopoluchiya geosistem II Metody integralnoy otsenki ustoychivosti nazemnykh i vodnykh geosistem* [Approaches to integrated assessment and GIS mapping of sustainability and ecological well-being of geosystems. II. Methods of integral assessment of the resistance of terrestrial and aquatic geosystems]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta = Bulletin of St. Petersburg University, 2013, v I. 7, iss. 3, pp. 88–103 (in Russian).
9. Dmitriev V. V., Fedorova I. V., Birukova A. S. *Podkhody k integralnoy otsenke i GIS-kartografirovaniyu ustoychivosti i ekologicheskogo blagopoluchiya geosistem IV Integralnaya otsenka ekologicheskogo blagopoluchiya nazemnykh i vodnykh geosistem* [Approaches to integrated assessment and GIS mapping of sustainability and ecological well-being of geosystems. Part IV. Integral assessment of the ecological well-being of terrestrial and aquatic geosystems]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta = Bulletin of St. Petersburg University. 2016, vol. 7, iss. 2. pp. 37–53 (in Russian).
10. Primak Ye. A. *Integralnaya otsenka ustoychivosti i ekologicheskogo blagopoluchiya vodnykh obyektov* [Integral assessment of the sustainability and environmental well-being of water bodies. Cand. geogr. sci. Abstr]. Saint Petersburg, 2009. 24 p. (in Russian).
11. Yakuchko O. F. *Belorusskoe Poozerie* [Belarusian Poozerie]. Minsk, 1971. 334 p. (in Russian).
12. Yakuchko O.F., Novik A. A. *Problemy ekologicheskoy ustoychivosti lednikovykh lozhbinnykh ozer Belorusskogo Poozerya* [Problems of ecological sustainability of glacial hollow lakes of the Belarusian Poozerie]. Bulletin of the BSU, Vol. 2, no 1. 2005, pp. 55–59 (in Russian).
13. Vlasov B.P. *Antropogennaya transformatsiya ozer Belarusi: geoekologicheskoye sostoyaniye, izmeneniya i prognoz* [Anthropogenic transformation of the lakes of Belarus: geoecological status, changes and forecast]. Minsk, BSU Publ., 2004. 207 p. (in Russian).
14. Guryanova L. V., Bazylenco G. M. *Otsenka hidrodinamicheskikh faktorov malykh evtrofnykh ozer Belorussii* [Evaluation of the hydrodynamic factors of small eutrophic lakes in Belarus]. Vestnik BGU = Bulletin of BSU. Iss. 2 Chemistry. Biology. Geography. 1985. no 2, pp. 60–64 (in Russian).
15. Guryanova L. V., Bazylenco G. M. *Gidrodinamicheskaya otsenka ustoychivosti vodnykh ekosistem malykh ozer k evtrofirovaniyu* [Hydrodynamic assessment of the resistance of aquatic ecosystems of small lakes to eutrophication]. Vestnik BGU = Bulletin of BSU. Iss.2 Chemistry. Biology. Geography. 1986. no 3, pp. 73–76 (in Russian).
16. Sukhovilo N. Y., Vlasov B. P., Novik A. A. *Dinamicheskiye kriterii otsenki ustoychivosti ozernykh ekosistem Belorusskogo Poozerya k vneshnemu vozdeystviyu* [Dynamic criteria for evaluation of the resistance of lake ecosystems of Belarusian Poozerie to external impact]. Jurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografiya. Geologiya = Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology. 2018. no 2, pp. 13–24 (in Russian).
17. Vlasov B. P. [et al.] *Ozyora Belarusi: spravochnik* [Lakes of Belarus: handbook]. Minsk, RUE “Minskippuproekt” Publ., 2004. 284 p. (in Russian).
18. *Gosudarstvennyy vodnyy kadastr. Yezhegodnyye dannyye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod* [State Water Cadastre. Annual data on surface water regime and resources]. Minsk, 1978–2018, vol. 3 (in Russian).
19. *Yezhegodnik kachestva poverkhnostnykh vod po hidrokhimicheskim pokazatelyam na territorii Respubliki Belarus* [Surface Water Quality Yearbook on hydrochemical indicators in the territory of the Republic of Belarus]. Minsk, 1983–2018 (in Russian).
20. Hovanov N.V. *Analiz i sintez pokazateley pri informatsionnom defitsite* [Analysis and synthesis of indicators in conditions of information deficit]. Saint-Petersburg, Saint-Petersburg University Publ., 1996. 196 p. (in Russian).
21. Smirnova N. P. [et al.]. *Teoreticheskiye voprosy klassifikatsii ozer* [Theoretical questions of the classification of lakes]. Saint-Petersburg, Science Publ., 1993. 192 p. (in Russian).
22. Loginova E. V., Lopukh P. S. Hydroecology: a course of lectures. Minsk, BSU Publ., 2011. 300 p. (in Russian).
23. *Nacyjanalny Atlas Belarusi* [National Atlas of Belarus]. Ed. M. Myasnikovich [et al.]. Minsk, Committee on Land Resources, Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the Republic of Belarus Publ., 2002. 299 p. (in Belarusian).

Информация об авторах

Нина Юрьевна Суховило – мл. науч. сотрудник, Белорусский государственный университет (пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь). E-mail: SukhoviloNY@bsu.by.

Алексей Александрович Новик – канд. геогр. наук, доцент, Белорусский государственный университет (пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь). E-mail: novikA@bsu.by

Information about the authors

Nina Yu. Sukhovilo – Junior Researcher, Belarusian State University (Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: SukhoviloNY@bsu.by

Aliaksei A. Novik – Ph.D (Geographpy), Associate Professor, Belarusian State University (Nezavisimosti Av., 4, 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: novikA@bsu.by

УЧЕТ ФАКТОРА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ОРГАНИЗАЦИИ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ г. МИНСКА)

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

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. На примере г. Минска проведена оценка возможности очистки поверхностного стока в современных условиях с учетом особенностей атмосферных осадков на территории города.

Показано, что ситуация наложения дождевого и талого стока ухудшает условия аккумулирования и очистки суммарного поверхностного стока, которые лимитируются объемом единовременного аккумулирования и необходимым временем отстаивания. На основе анализа в разрезе месяца бездождевых периодов и дождевых серий показаны условия работы сооружения механической очистки поверхностного стока в транзитном и стационарном режимах.

Ключевые слова: поверхностный сток; обеспеченность; слой осадков; водосборная площадь; очистные сооружения.

Для цитирования. Савич-Шемет О. Г., Гапанович Е. В., Анцух Ю. П. Учет фактора атмосферных осадков в организации очистки поверхностного стока с урбанизированной территории (на примере г. Минска) // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 66–75.

ACCOUNTING OF ATMOSPHERIC SEDIMENTS FACTOR IN THE ORGANIZATION OF CLEANING THE SURFACE DRAIN FROM URBANIZED TERRITORY (ON THE EXAMPLE OF MINSK CITY)

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

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

Abstract. On the example of Minsk city the estimation of the possibility of the cleaning of surface drain in modern conditions with the accounting of the peculiarities of atmosphere sediments on the territory of the city is conducted.

It is shown that the situation of rain imposing and melt runoff, worsens the conditions of accumulation and purification of the total surface runoff, which are limited by the volume of one-time accumulation and the necessary time for settling. On the base of an analysis in the month of rainless periods and rain series the working conditions of the facility for the mechanical cleaning of surface runoff in transit and stationary modes are shown.

Key words: surface drain, provision, sediment layer, catchment area, sewage treatment plant.

For citation. Savich-Shemet O. G., Gapanovich E. V., Antsuh Yu. P. Accounting of atmospheric sediments factor in the organization of cleaning the surface drain from urbanized territory (on the example of Minsk city). *Nature Management*. 2019, no 1, pp. 66–75.

Введение

Поверхностный сток, формируемый на территории крупных городов является значимым фактором загрязнения природных водных объектов.

Задачи исследований в области очистки поверхностного стока с урбанизированной территории в современных условиях обусловлены не только необходимостью в теоретическом плане разрешения конкретной ситуации предотвращения загрязнения природного водного объекта, но и поиском оптимального практического ее решения. Последнее как раз определяет востребованность и актуальность исследования.

При эксплуатации сооружений очистки поверхностного стока, формируемого на территории крупного города, необходимо учитывать главную его особенность: крайне неравномерное распределение расходов и концентраций загрязняющих веществ во временном разрезе.

Наибольший интерес с позиции эксплуатации сооружений дождевой канализации г. Минска представляют корректная оценка и прогноз формирования объемов поверхностного стока с городской тер-

ритории, поступающего на конкретные очистные сооружения. Такая оценка невозможна без исследования суточной динамики формирования объемов поверхностного стока с водосборной площади.

Возможность количественной оценки формирования поверхностного стока с урбанизированной территории с позиции возможности его аккумуляции и очистки на существующих очистных сооружениях определяется анализом особенностей режима и количества выпадающих на водосборную площадь атмосферных осадков.

Количество атмосферных осадков. Количественные характеристики атмосферных осадков обуславливают водный режим водосборной территории, объемные параметры поверхностного стока.

Основное количество осадков на территории г. Минска выпадает в форме дождей.

В зависимости от физических условий образования (по морфологическим признакам) различают три вида осадков:

1) обложные осадки (связанные с атмосферными фронтами), характеризуются средней интенсивностью, распространяются сравнительно равномерно, выпадают сразу на больших площадях, продолжаются достаточно длительное время (порядка десятков часов). Обложные осадки преобладают в холодный период года, наблюдаются преимущественно в осенне-зимний сезон;

2) ливневые осадки характеризуются высокой интенсивностью и малой продолжительностью.

Ливневые осадки на территории г. Минска достигают максимума в теплую половину года, что связано с прогревом воздуха над континентом, увеличением испарения с подстилающей поверхности, большими вертикальными градиентами температуры воздуха, а также прохождением холодных фронтов. За теплый период года в среднем наблюдается 4–6 ливней.

В среднем большее число ливней отмечается в июле, за ним следуют август, май, июнь, сентябрь, октябрь, апрель. Характерно, что в июне заметно снижается повторяемость ливней по сравнению с маевым, но в июле резко возрастает. В июле отмечается и более высокая средняя интенсивность ливневых дождей;

3) моросящие осадки (мелкокапельный дождь, диаметр капель менее 0,5 мм) характеризуются низкой интенсивностью и монотонностью выпадения. Как правило, моросящие осадки не дают существенных суточных количеств влаги.

Таким образом, в течение года на территории г. Минска могут наблюдаться различные по характеру выпадения осадки в форме дождя: летом и поздней весной – ливневые дожди, осенью – обложные осадки в виде моросящего дождя.

Объектом исследования авторов являлись временные ряды сумм атмосферных осадков суточного разрешения на территории г. Минска во взаимосвязи с формированием поверхностного стока, возможностью его единовременного аккумулирования и отстаивания в аккумулирующей емкости очистного сооружения. Был исследован режим функционирования существующего очистного сооружения поверхностного стока в г. Минске – пруда-регулятора.

Для характеристики временной изменчивости количества выпадающих осадков, определения продолжительности бездождевых периодов в целях последующего сопоставления их со временем, необходимым для механической очистки поверхностного стока путем отстаивания в аккумулирующей емкости очистного сооружения, был проведен посуточный анализ дождевых серий в год 50 %-ной обеспеченности. Расчет и построение кривой обеспеченности базировались на методических подходах, изложенных в работе [1] с использованием формулы (1), обеспечивающей асимптотическое приближение вычисленного значения обеспеченностей к действительному.

Средний по водности год, год высокой водности определены за период 1945–2016 гг. (71 год). Вероятность – это мера оценки достоверности появления того или иного события. Вероятность появления рассматриваемой величины $P(A)$ равна отношению числа случаев, благоприятствующих появлению рассматриваемого события m , к общему числу случаев n . Вероятность превышения рассчитана по формуле (1):

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100, \quad (1)$$

где P – вероятность превышения, %; m – порядковый номер величины при расположении наблюдавшихся величин в нисходящем порядке; n – количество членов ряда.

Обеспеченностью какой-либо величины исследуемого ряда называется вероятность того, что рассматриваемое значение может быть превышено среди совокупности всех возможных ее значений.

При достаточно продолжительных и репрезентативных рядах определение года заданной обеспеченности производится по кривым обеспеченности. По оси абсцисс такой кривой откладывается P (%), по оси ординат – одна из характеристик (например, количество атмосферных осадков, расход воды, модульный коэффициент и др.). Кривая обеспеченности – интегральная кривая, показывающая вероятность превышения (в процентах или долях от единицы) данной характеристики среди

общей совокупности ряда. Кривые обеспеченности могут быть построены в виде эмпирических (наблюдаемых) и аналитических (теоретических) кривых.

Средний по водности год, год высокой водности, а также обеспеченность осадками последних лет определены на основании построения эмпирической кривой вероятности превышения (рис. 1).

Исходя из анализа результатов инструментальных наблюдений, средними по водности годами можно определить 1996, 2007, 2008, 2013 г. и др. Годами высокой водности для целей настоящей работы приняты годы 5 %-ной вероятности превышения; ими можно определить 1998, 2012 г. и др. 2016 г. определен годом повышенной водности с количеством наблюденных атмосферных осадков 756 мм (17 %-ной вероятности превышения), 2015 г. является маловодным годом с количеством наблюденных атмосферных осадков 563 мм (89 %-ной вероятности превышения).

Выявленный холодный период года, определяемый по датам перехода через 0 °C температуры почвы не исследовали, поскольку выпавшие за этот промежуток времени как жидкие, так и твердые осадки, не являются лимитирующими в части формирования объемов стока. Во время оттепелей объем дождевого и талого стока имеет малые значения и, как принято в практике эксплуатации систем дождевой канализации, считается, что в зимний период она практически не функционирует.

Анализ суточных осадков в средний по водности год, год высокой водности и за период инструментальных наблюдений. В качестве лимитирующего фактора при анализе режима суточных осадков принят рабочий объем аккумулирующей емкости очистного сооружения поверхностного стока – пруда-регулятора, который составляет 252,9 тыс. м³, или 6 мм при расчете на слой осадков.

Аккумулирующая емкость существующего пруда-регулятора была запланирована на принятие поверхностного стока с водосборной площади ~55 км². В современных условиях водосборная площадь сооружения увеличилась в 1,7 раза и с учетом активного градостроительного освоения территории г. Минска составляет порядка 92,8 км². Соответственно, увеличился объем поверхностного стока, поступающего на очистку в пруд-регулятор.

Представляло интерес продифференцировать по лимитирующему объемному фактору (в нашем случае – 6 мм) наблюденные суточные значения величины атмосферных осадков на метеостанции г. Минска за средний по водности год (табл. 1).

Наблюденный максимум суточных атмосферных осадков в средний по водности год составил 29,4 мм (табл. 2), характерен для теплого периода – май месяц при среднем значении – 4,61 мм. Наблюденный максимум суточных атмосферных осадков в год высокой водности составил 56,4 мм (см. табл. 2), характерен для теплого периода – июль месяц. Среднесуточная величина выпавших атмосферных осадков составила 8,62 мм.

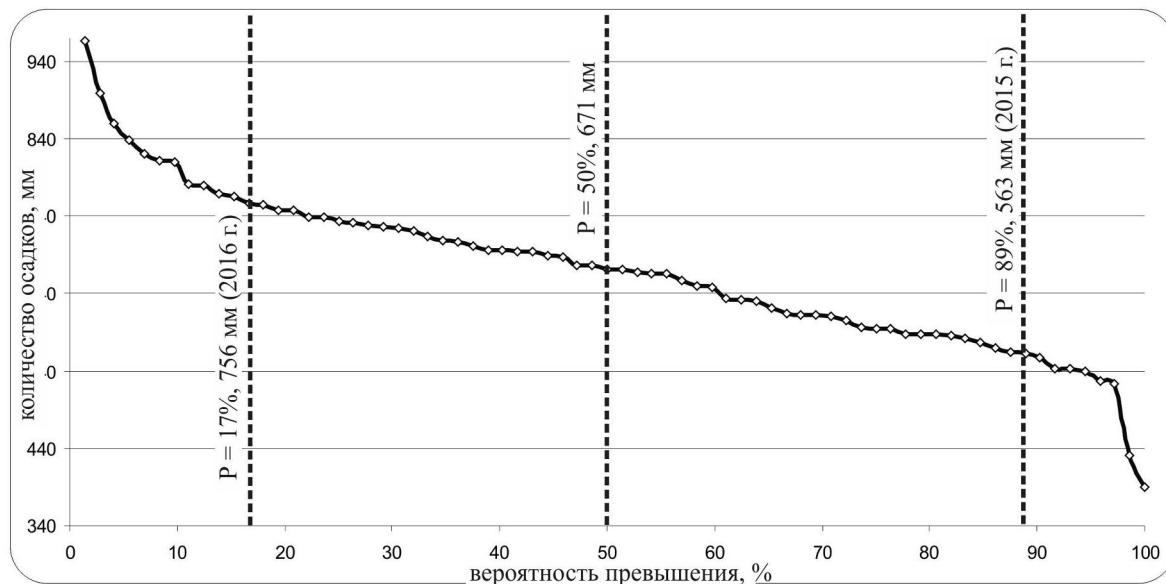


Рис. 1. Обеспеченность атмосферными осадками территории исследований

Fig. 1. Research territories, provided with atmosphere sediments

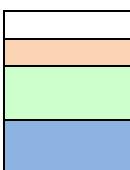
Таблица 1. Наблюденные суточные значения величины атмосферных осадков на метеостанции г. Минска за средний по водности год

Table 1. Observed daily values of precipitation at Minsk meteorological station over the average year of water content

Сутки	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
1-е	0,6	0	9,9	0	0	0	2,2	0	0	6,3	0	1,0
2-е	0	0,7	10,0	0	1,7	0	0	0	0,3	0	0,1	3,3
3-и	0	0	1,0	0	0,8	0	0	6,3	0	1,1	0	0
4-е	0	0	6,9	0	0	0	0	0	0	14,9	0	0,1
5-е	0	0	0	0	0	0	5,8	7,6	0,7	18,0	0,1	1,9
6-е	0	0,8	2,6	0,4	0,1	0	0,2	4,6	2,8	0	0	1,7
7-е	0	5,5	2,5	9,6	0	0	0	0	0	0	0	0,1
8-е	0,6	0	0	18,4	1,0	0	12,2	0	0	0	0	0,1
9-е	1,0	0	0	0	0,1	0	0	0,3	17,5	0	0	0
10-е	1,5	0	0	8,2	0	0	1,9	0	0	0,9	0	0
11-е	0	0	0,6	0,3	3,2	0	0	0	0,1	0	0	0
12-е	0	0,5	2,4	5,3	25,2	0	0	0	0,7	1,1	0	0
13-е	0	0,6	0,1	12,8	0,6	0	2,1	0	11,4	0	0	0
14-е	0	0,5	0,1	0,1	0	2,4	2,3	0	1,2	0,6	0,1	0
15-е	0,1	2,4	1,6	0	0	0	4,8	3,5	0	0	3,5	0,2
16-е	0	0,5	0	0,3	4,2	0	0	0	1,2	0,8	1,3	0
17-е	0	2,0	0	8,4	2,1	7,0	8,1	0	0,4	3,7	0,3	0,1
18-е	0	1,0	3,3	0	0	0	0	0,1	0,6	3,3	0	0,5
19-е	6,3	1,6	3,8	0,3	1,9	0	7,9	0	7,2	5,5	1,5	2,5
20-е	3,9	0	0,9	3,5	0	0	25,4	0	0,3	0	2,2	2,9
21-е	0,4	0,4	0	0	29,4	3,4	4,7	0,1	5,9	0	1,3	0,8
22-е	0,3	2,8	0	0	8,5	1,9	1,2	0	0,2	0	7,2	5,7
23-и	0,3	6,3	2,9	0	5,4	18,9	0	2,4	0,1	3,9	5,1	1,1
24-е	0,9	0,1	4,8	0	14,2	0	3,3	17,9	0	0	1,6	0,2
25-е	5,0	3,5	18,6	0	3,3	0	0	1,2	0	0	2,0	0
26-е	11,6	0	1,8	0	0	0,3	0	0	0	0	0,4	0
27-е	7,6	1,9	0	0	0,7	0	0	0	0	0	1,3	0
28-е	0,3	3,0	0	0	0,1	6,7	0	0,6	0	0	0	0,5
29-е	0	0	0	0,9	0	0	0	10,3	0	0	0,1	0
30-е	0,3	—	0	0,3	0	0	0	3,3	0	0	1,9	0
31-е	2,5	—	0	—	0	—	4,5	5,5	—	4,6	—	0

Переход на весенне-летний период – 29 марта – переход температуры с «–» на «+».

Переход на зимний период – 28 ноября – переход температуры с «+» на «–».



- осадки твердые и жидкые в зимний период;
- бездождевой период;
- период, с суммой осадков менее 6 мм (соответствующие рабочему объему очистного сооружения (пруда-регулятора) поверхностного стока);
- период, с суммой осадков превышающий 6 мм (соответствующие рабочему объему очистного сооружения (пруда-регулятора) поверхностного стока).

Таблица 2. Наблюденный суточный максимум

Table 2. Observed daily maximum

Месяц	Средний по водности год		Год высокой водности	
	Максимум осадков, мм	Дата	Максимум осадков, мм	Дата
Январь	11,6	26.01.2008	7,9	25.01.2009
Февраль	6,3	23.02.2008	11,6	04.02.2009
Март	18,6	25.03.2008	15,0	30.03.2009
Апрель	18,4	08.04.2008	1,6	10.04.2009
Май	29,4	21.05.2008	13,8	13.05.2009
Июнь	18,9	23.06.2008	20,3	13.06.2009
Июль	25,4	20.07.2008	56,4	24.07.2009
Август	17,9	24.08.2008	12,2	18.08.2009
Сентябрь	17,5	09.09.2008	19,8	05.09.2009
Октябрь	18,0	05.10.2008	33,8	14.10.2009
Ноябрь	7,2	22.11.2008	11,9	18.11.2009
Декабрь	5,7	22.12.2008	11,8	07.12.2009

Анализ суточных осадков за период инструментальных наблюдений показал, что максимальное количество суточных атмосферных осадков 1 %-ной обеспеченности составляет 77,5 мм (табл. 3).

Таким образом, анализ количества поступивших атмосферных осадков на территорию исследований позволил определить:

- для среднего по водности года среднесуточная величина выпавших атмосферных осадков составила 4,61 мм;
- для года высокой водности среднесуточная величина выпавших атмосферных осадков составила 8,62 мм;
- количество суточных атмосферных осадков 1 %-ной обеспеченности составило 77,5 мм.

Анализ возможности аккумулирования и очистки поверхностного стока. Выбор схемы отведения и очистки поверхностного стока определяется его количественной и качественной характеристиками, требуемой степенью очистки, неравномерностью расхода и технической возможности реализации метода очистки, и др.

Степень и характер загрязнения поверхностного стока с территории города зависят от ряда факторов: размеров водосборной территории, ее функционального назначения, транспортных и пешеходных нагрузок, санитарного состояния и уровня благоустройства водосбора, условий содержания улично-дорожной сети в летний и зимний периоды года, метеорологических параметров выпадающих осадков, предшествующего периода сухой погоды, интенсивности процесса весеннего снеготаяния и др. [2–4].

Многочисленные, проведенные в нашей стране и за рубежом исследования химического состава формирующегося на территории города поверхностного стока показали, что основными источниками его загрязнения являются продукты эрозии почвы с газонов и открытых грунтовых поверхностей, пыль, вымываемые компоненты дорожных покрытий, промышленные выбросы в атмосферу, автомобильный транспорт, применение в зимний период противогололедных песчано-солевых смесей [5–7].

Отдельно следует отметить, что исследованиями формирования химического состава поверхностного стока в сезонном разрезе, в том числе на примере г. Минска [8, 9], установлено: сток, формируемый в весенний период (на этапе активного снеготаяния) характеризуется в значительной степени более высоким уровнем содержания загрязняющих веществ, в сравнении с другими периодами года.

Учитывая многообразие факторов, влияющих на формирование качественных параметров поверхностного стока с селитебных территорий, характер и степень его загрязнения различными веществами органической и минеральной природы, в качестве приоритетных показателей с позиции выбора схемы очистки поверхностного стока с селитебных территорий рассматривается содержание взвешенных веществ и нефтепродуктов.

Достаточно эффективными с позиции очистки от взвешенных веществ и нефтепродуктов и простыми в плане реализации и эксплуатации являются очистные сооружения механической очистки сточных вод, основанные на разделении гетерогенных систем гравитационным осаждением – отстаиванием.

Принципиальная схема организованного сбора, отведения и очистки поверхностного стока с территории г. Минска разработана в 70-х годах прошлого века с целью предотвращения загрязнения реки Свислочь, ее притоков и Цнянско-Слепянской водной системы. Пруд-регулятор является очистным сооружением механической очистки отстойного типа и основным элементом схемы дождевой канализации г. Минска, принимает сток с 1/3 водосборной территории города.

Таблица 3. Наблюденные суточные максимумы атмосферных осадков на метеостанции г. Минска 1 %-ной обеспеченности

Table 3. Observed daily maximums of atmosphere sediments on the meteorological station of Minsk city of 1 % provision

Месяц	Количество осадков, мм	Дата
Январь	23,1	10.01.1996
Февраль	23,7	06.02.1963
Март	21,2	29.03.1987
Апрель	42,9	06.04.2000
Май	62,1	18.05.1963
Июнь	56,7	25.06.1999
Июль	73,5	09.07.1973
Август	77,5	08.08.2005
Сентябрь	43,0	01.09.1978
Октябрь	36,9	08.10.2002
Ноябрь	29,9	22.11.1962
Декабрь	21,6	03.12.1996

Правильная оценка возможности очистки поверхностного стока в существующем очистном сооружении отстойного типа возможна при комплексном сопоставительном анализе посutoчных объемов поверхностного стока, сформированных на основе наблюденных суточных значений величины атмосферных осадков в г. Минске (дождевых серий и бездождевых периодов), условий их аккумулирования и очистки, которые определяются лимитирующим объемом аккумулирования и необходимым временем отстаивания стока (от 10 до 36 ч).

Зимний период. Холодный период года длится с конца ноября до конца марта. Выпадающие за этот промежуток времени как жидкие, так и твердые осадки не являются лимитирующими в части формирования объемов стока, так как поступают в систему дождевой канализации после наступления положительных температур воздуха. Во время оттепелей объем дождевого и талого стока имеет малые значения и как принято в практике, считается, что система дождевой канализации в зимний период не функционирует.

Весенний период. Длительность периода – с конца марта до середины мая.

Динамика изменения суточного значения величины атмосферных осадков в весенний период в средний по водности год (2008 г.) представлена на рис. 2 и 3. В весенний период наблюдаются, например:

а п р е л ь:

1-я серия: бездождевых – 5 дней; дождь – 3 дня (сумма осадков – 28,4 мм);

2-я серия: бездождевых – 1 день; дождь – 5 дней (сумма осадков – 26,3 мм);

3-я серия: бездождевых – 1 день; дождь – 2 дня (сумма осадков – 8,7 мм);

4-я серия: бездождевых – 1 день; дождь – 2 дня (сумма осадков – 3,8 мм).

5-я серия: бездождевых – 8 дней; дождь – 2 дня (сумма осадков – 1,2 мм).

м а й:

1-я серия: бездождевых – 1 день; дождь – 3 дня (сумма осадков – 2,5 мм);

2-я серия: бездождевых – 3 дня; дождь – 1 день (сумма осадков – 1,0 мм);

3-я серия: бездождевых – 1 день; дождь – 3 дня (сумма осадков – 29,0 мм);

4-я серия: бездождевых – 2 дня; дождь – 2 дня (сумма осадков – 6,3 мм);

5-я серия: бездождевых – 1 день; дождь – 1 день (сумма осадков – 1,9 мм);

6-я серия: бездождевых – 1 день; дождь – 6 дней (сумма осадков – 60,8 мм);

7-я серия: бездождевых – 1 день; дождь – 1 день (сумма осадков – 0,7 мм); бездождевых – 3 дня.

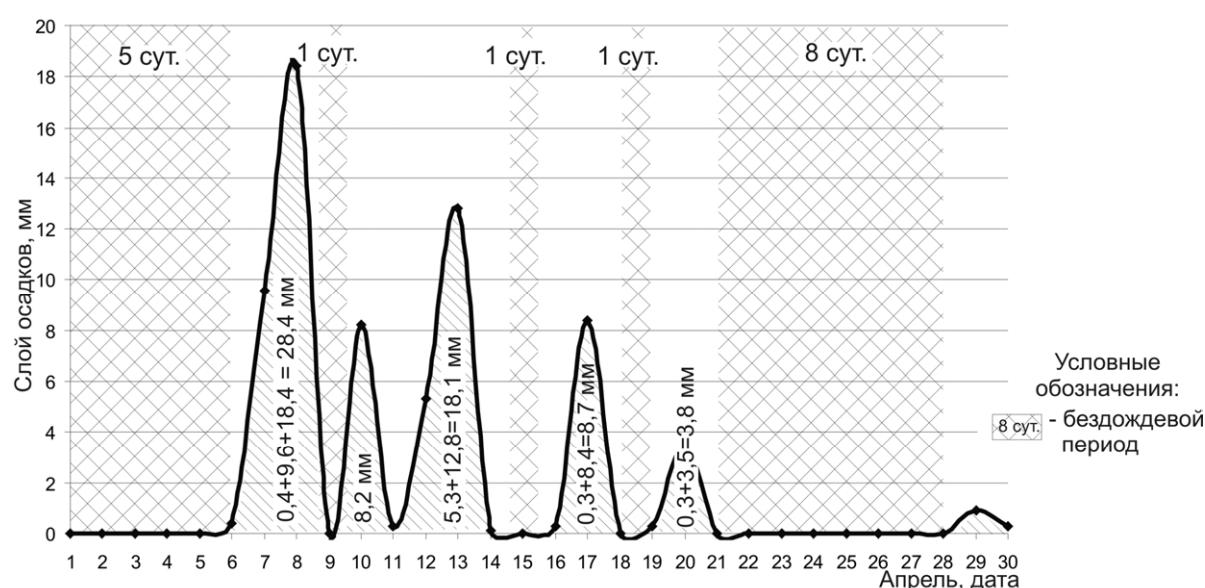


Рис. 2. Динамика суточного наблюденного количества атмосферных осадков в апреле месяце в средний по водности год

Fig. 2. The dynamics of the observed amount of atmosphere sediments in April in an average year by water content

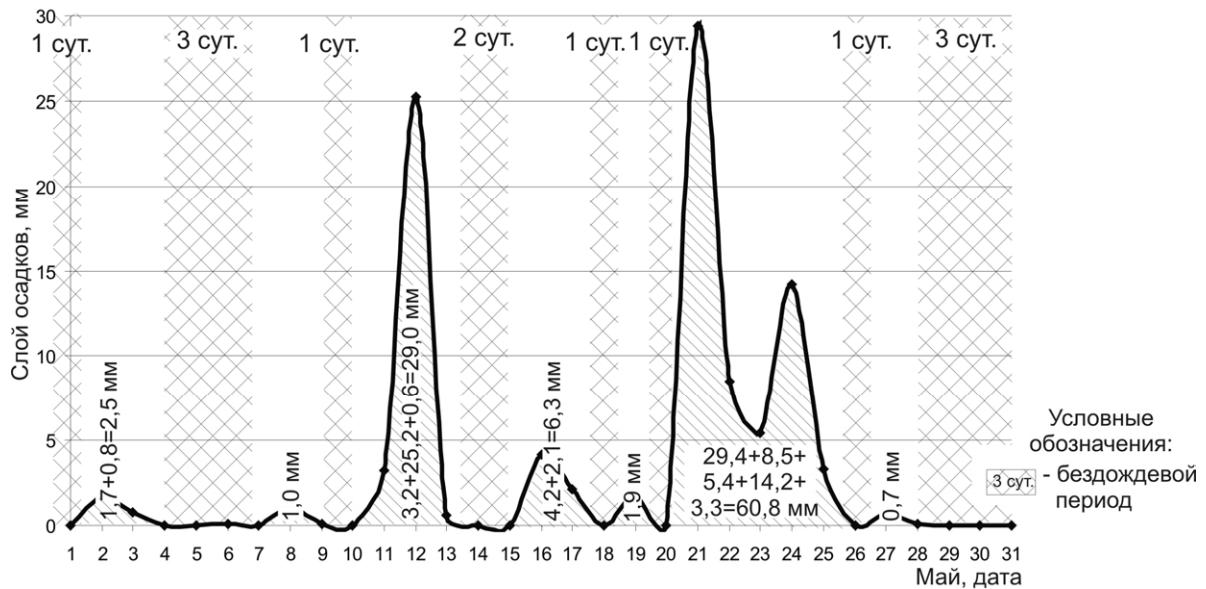


Рис. 3. Динамика суточного наблюденного количества атмосферных осадков в мае месяце в средний по водности год

Fig. 3. Dynamics of the daily observed amount of atmosphere sediments in May in an average year by water content

Следует отметить, к поверхностному стоку, формируемому дождевыми атмосферными осадками, выпадающими сериями по 3–5 дней с бездождевыми промежутками до 8 дней, добавляется талый сток.

Наряду с этим в результате активного снеготаяния наблюдается ситуация залпового сброса накопленных в сугробах за зимний период загрязняющих веществ.

В связи вышесказанным, наложение талого и дождевого стока (с количественной и качественной точек зрения) не позволяет обеспечить условия для отстаивания и очистки суммарного стока.

В летний период бездождевые периоды составляют от одних суток до тринадцати дней (см. табл. 1). Небольшие дождевые серии (дождь до 6 мм), могут быть с аккумулированы в пруду-регуляторе и очищены путем отстаивания в течение бездождевого периода. Дожди высокой интенсивности (расчетный дождь $P = 1\%$) не могут быть с аккумулированы в пруду и очищены методом отстаивания, так как значительно превышают его рабочий объем, и соответственно вода пройдет через сооружение транзитом.

В осенний период дождевые серии имеют более продолжительный характер по отношению к другим периодам года. Продолжительность дождевой серии фиксируется от одного до девяти дней. Затяжные дожди формируют объемы стока в несколько раз превышающие рабочий объем пруда, что исключает возможность нахождения его в емкости пруда не менее одних суток. Сооружение работает в стационарном режиме.

Таким образом, анализ суточной динамики формирования объемов поверхностного стока с водосборной площади пруда-регулятора в средний по водности год (2008 г.) и оценки возможности функционирования пруда регулятора в качестве сооружения механической очистки дождевых и талых вод показал, что в разрезе данного года наиболее неблагоприятным с позиции формирования качественных характеристик поверхностного стока является месяц май (рис. 4).

Чтобы учесть весь объем поверхностных сточных вод, поступающих в пруд-регулятор в конце весеннего периода (май), объем дождевого стока был суммирован с объемом стока весеннего половодья и средним количеством нормативно-чистых вод предприятий города, расположенных на водосборной территории пруда. Суммарный объем поверхностного стока за май месяц составил 5894,9 тыс. м³. Наряду с этим проанализирован также и летний период (июль месяц), поскольку известно, что летом выпадают ливневые дожди высокой интенсивности, которые могут обуславливать формирование единовременно больших объемов осадков (рис. 5).

В июле к объему дождевого стока прибавляется объем нормативно-чистых вод предприятий. Суммарный объем поверхностного стока за июль месяц составил 3775,1 тыс. м³.

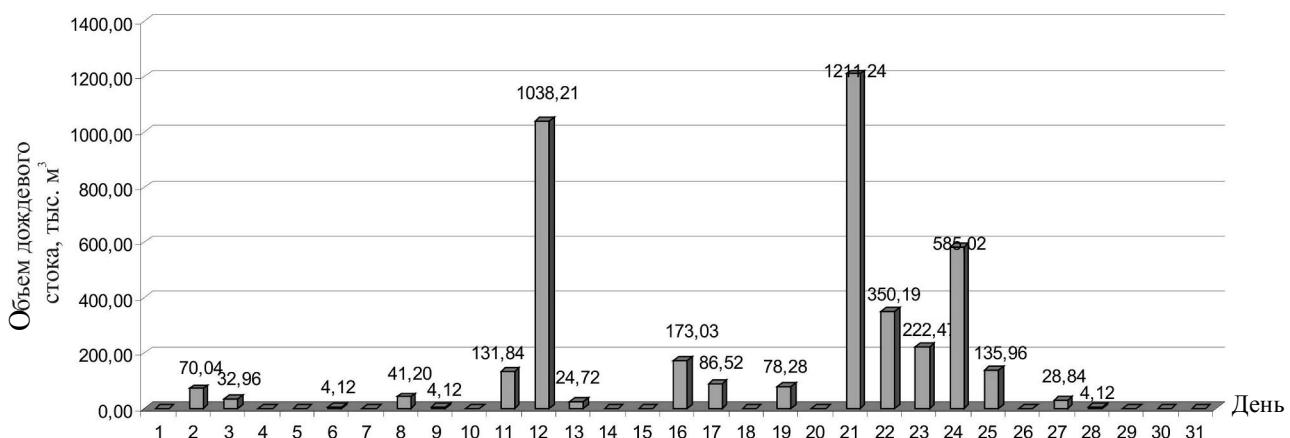


Рис. 4. Посуточный объем дождевого стока за май месяц с водосборной площади очистного сооружения (пруда-регулятора) в средний по водности год

Fig. 4. Daily rainfall for May from the catchment area of the sewage treatment plant (pond regulator) in an average year by water content

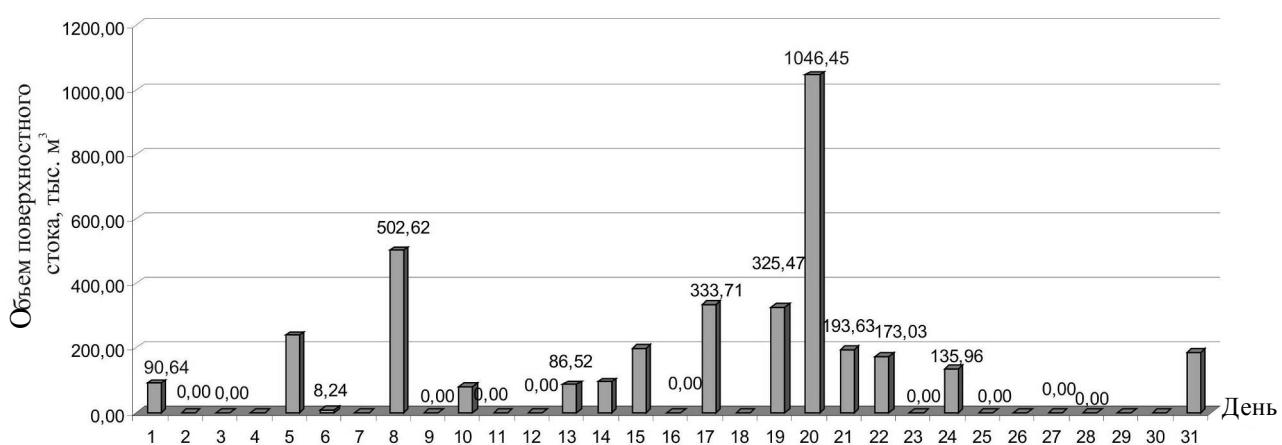


Рис. 5. Посуточный объем дождевого стока за июнь месяц с водосборной площади очистного сооружения (пруда-регулятора) в средний по водности год

Fig. 5. Daily rainfall for June from the catchment area of the sewage treatment plant (pond regulator) in an average year by water content

Анализ посуточных объемов поверхностного стока показал, что в весенний период (май) при наложении объемов перечисленных выше составляющих поверхностного стока, формируется сток, объем которого превышает рабочую емкость пруда-регулятора. Этот период приурочен, как правило, ко второй половине мая. В такие дни (4-5 дней месяца) ввиду объективной невозможности принять этот объем воды емкостью пруда, поверхностный сток без отстаивания транзитом поступает в водоток.

Остальные дни можно рассматривать как благоприятное время для создания условий очистки поверхностных сточных с территории города вод на базе существующего сооружения.

Выводы

1. Анализ фактора атмосферных осадков на территории г. Минска в разрезе возможности аккумулирования и механической очистки в гидротехническом сооружении формирующегося поверхностного стока выявил ряд особенностей применительно к рассматриваемым очистным сооружениям:

- наложение талого и дождевого стока в весенний период и их совместное поступление в пруд-регулятор обуславливает наиболее неблагоприятный с позиции возможности аккумулирования и очистки поверхностного стока период работы сооружения, вызванный большими объемами стока, залповым сбросом накопленных в снеговом покрове за зимний период загрязняющих веществ. Сооружение работает в транзитном режиме;

– в летний период, за счет наличия большого количества бездождевых периодов (от одних суток до тринадцати дней), обеспечиваются благоприятные условия для механической очистки поверхностного стока с территории водосбора путем отстаивания;

– выпадение ливневых дождей высокой интенсивности летом и обложных осадков средней интенсивности осенью может обусловить переполнение рабочей емкости гидротехнического сооружения, а, следовательно, и исключение процессов отстаивания, прохождение воды через сооружение транзитом.

2. Выявленная взаимосвязь динамики суточных сумм атмосферных осадков и условий работы очистных сооружений механической очистки позволила определить особенности их работы в стационарном и транзитном режимах в различные периоды года, а также учитывать их при разработке направлений усовершенствования схемы очистки поверхностного стока с территории г. Минска.

Список использованных источников

- Хромов, С. П. Метеорология и климатология / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – М. : Изд-во МГУ им. М. В. Ломоносова, 2006.
- Овчарова, Е. П. Состояние поверхностных и подземных вод / Е. П. Овчарова [и др.] // Состояние окружающей среды и природопользование города Минска. – Минск, 2007. – Гл. 4. – С. 39–62.
- Овчарова, Е. П. Эколого-геохимическая оценка поверхностного стока с городской территории (на примере г. Минска) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / Е. П. Овчарова. – Минск, 2006.
- Правошинский, Н. А. Исследование поверхностного стока с застроенных территорий и его учет при проектировании канализации городов : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н. А. Правошинский. – Одесса, 1971.
- Алексеев, М. И. Организация отведения поверхностного (дождевого и талого) стока с урбанизированных территорий / М. И. Алексеев, А. М. Курганов. – М. : АСВ ; СПбГАСУ, 2000.
- Дикаревский, В. С. Отведение и очистка поверхностных сточных вод / В. С. Дикаревский [и др.]. – Л. : Стройиздат, 1974.
- Хомич, В. С. Геоэкологические исследования урбанизированных территорий Беларуси / С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик, М. И. Струк, С. В. Савченко, Е. В. Санец, В. А. Рыжиков // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2012. – Вып. 22 – С. 141–155.
- Правошинский, Н. А. О мерах охраны водоемов в городской черте от загрязнения стоками дождевых, талых и поливомоечных вод / Н. А. Правошинский, В. С. Смольянинов, Т. Д. Гречухина // Проблемы использования водных ресурсов. – Минск : Наука и техника, 1968. – С. 109–117.
- Санец, Е. В. Химический состав атмосферных осадков и поверхностного стока в Минске / Е. В. Санец, Е. П. Овчарова, О. Е. Белькович // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2009. – Вып. 16. – С. 39–47.

References

- Hromov S. P. *Meteorologiya i klimatologiya* [Meteorology and climatology]. Moscow, Publ. of Moscow University, Science, 2006 (in Russian).
- Ovcharova E. P. *Sostoyanie poverhnostnyh i podzemnyh vod* [Conditions of surface and underground]. *Sostoyanie okruzhayuschej sredyi i prirodopolzovanie goroda Minska* = *Conditions of environment and nature management of Minsk city*. Minsk, 2007, ch. 4, pp. 39–62 (in Russian).
- Ovcharova E. P. *Ekologo-geohimicheskaya ocenka poverhnostnogo stoka s gorodskoj territorii (na primere g. Minska)*. Avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk [Ecological and geochemical estimation of surface drain from city territory (on the example of Minsk city)]. Abstract Cand. geogr. sci. diss.]. Minsk, 2006 (in Russian).
- Pravoshinsky N. A. *Issledovanie poverhnostnogo stoka s zastroennyh territorij i ego uchet pri proektirovaniu kanalizacii gorodov*. Avtoref. dis. ... kand. techn. nauk [Study of surface drain from built up territories and its account during the projection of city sewages. Abstract Cand. techn. sci. diss.]. Odessa, 1971 (in Russian).
- Alekseev M. I. *Organizaciya otvedeniya poverhnostnogo (dozhdevogo i talogo) stoka s urbanizirovannyh territorij* [The organization of the discharge of surface (rain and thawed) runoff from urbanized areas]. Moscow, 2000 (in Russian).
- Dikarevsky V. S. *Otvedenie i ochistka poverhnostnyh stochnyh vod* [Removal and treatment of surface wastewater]. Leningrad, 1974 (in Russian).
- Homich V. S. *Geoekologicheskie issledovaniya urbanizirovannyh teritorij Belarusi* [Geoenvironmental research of the urbanized territories of Belarus]. *Prirodopolzovanie* = *Nature Management*. Minsk, 2012, vol. 22, pp. 141–155 (in Russian).
- Pravoshinsky N. A. *O merah ohrany vodoemov v gorodskoj cherte ot zagryazneniya stokami dozhdevyh, talyh i polivomoeychnyh vod* [On the measures of the protection of water bodies in the city from pollution by rainwater, snowmelt and irrigation water]. *Problemyi ispolzovaniya vodnyih resursov* = *Problems of water resources use*. Minsk, Science and technic, 1968, pp. 109–117 (in Russian).
- Sanets E. V., Ovcharova E. P., Belkovich O. E. *Himicheskij sostav atmosfernyh osadkov i poverhnostnogo stoka v Minske* [Chemical content of atmosphere sediments and surface drain in Minsk]. *Prirodopolzovanie* = *Nature Management*. Minsk, 2009, vol. 16, pp. 39–47 (in Russian).

Информация об авторах

Савич-Шемет Оксана Григорьевна – канд. геогр. наук, науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: savichoks@yandex.ru

Гапанович Екатерина Валерьевна – канд. техн. наук, вед. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: kat@tut.by

Анцух Юлия Петровна – мл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: yulga@yandex.by

Information about the authors

Oksana G. Savich-Shemet – Ph.D. (Geography), Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: savichoks@yandex.ru

Ekaterina V. Gapanovich – Ph.D. (Technical), Leader Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: kat@tut.by

Yulia P. Antsuh – Junior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: yulga@yandex.by

ПРОБЛЕМЫ ОБРАЩЕНИЯ С ГОРОДСКИМИ ПОЧВАМИ, ЗАГРЯЗНЕННЫМИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ И ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

В. С. Хомич¹, С. В. Савченко¹, В. А. Рыжиков¹, Е. М. Глушень²,
Ю. А. Романкевич¹, Р. М. Зайн Эль-Динь¹

¹Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь,

²Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Ореолы загрязнения почв на территории городов чаще всего формируются за счет поступления в них нефтепродуктов и тяжелых металлов, содержание которых на отдельных участках превышает фоновые уровни и гигиенические нормативы в несколько десятков раз. Наличие в городах загрязненных земель (почв) требует их выявления и последующей реабилитации для дальнейшего использования. Обращение с загрязненными землями предполагает следующий алгоритм действий: сбор информации об объекте исследований; проведение полевых работ, определение критериев для оценки загрязнения почв (фонового содержания химических веществ в почвах и/или их гигиенических нормативов), оценка степени загрязнения земель, выбор метода очистки (обезвреживания) или обращения с загрязненными почвами и разработка рекомендаций по использованию очищенных земель. Очистка, изъятие и захоронение являются одними из наиболее эффективных методов решения проблем, связанных с загрязнением почв. Для очистки почв от нефтепродуктов наиболее приемлемы микробиологические методы с добавлением торфа, от тяжелых металлов – методы фиторемедиации, изъятие загрязненных почвогрунтов или закрепление металлов в почве.

Ключевые слова: загрязненные почвы; тяжелые металлы; нефтепродукты; фоновое содержание; гигиенические нормативы; степень загрязнения; очистка почв.

Для цитирования. Хомич В. С., Савченко С. В., Рыжиков В. А., Глушень Е. М., Романкевич Ю. А., Зайн Эль-Динь Р. М. Проблемы обращения с городскими почвами, загрязненными нефтепродуктами и тяжелыми металлами // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 76–90.

PROBLEMS OF HANDLING WITH URBAN SOILS, POLLUTED PETROLEUM PRODUCTS AND HEAVY METALS

V. S. Khomich¹, S. V. Savchenko¹, V. A. Ryzhikov, E. M. Hlushen²,
Yu. A. Romankevich¹, R. M. Zain El-Dinh¹

¹Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,

²Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. Halos of soil contamination in the city are most often formed by the receipt of oil products and heavy metals in them. The content of these components exceeds background levels and hygienic standards by several dozen times in some areas. The presence in cities of contaminated lands (soils) requires their identification and subsequent rehabilitation for further use. Management of contaminated land involves the following sequence of actions: collection of information about the object of research; conducting field research; determining criteria for assessing soil contamination (background content of chemical substances in soils and / or their hygienic standards); assessment of land pollution; choosing a method of cleaning (neutralization) or handling contaminated soils and developing recommendations for the use of treated land. The most effective methods for solving the problems associated with soil pollution are cleaning, removal and disposal. Phytoremediation methods, removal of contaminated soil or fixation of metals in the soil should be used to clean the soil from heavy metals.

Key words: polluted soils; contaminated land; heavy metals; petroleum products; background content; hygienic standards; pollution degree; soil cleaning.

For citation. Khomich V. S., Savchenko S. V., Ryzhikov V. A., Glushen E. M., Romankevich Yu. A., Zain El-Dinh R. M. Problems of handling with urban soils, polluted petroleum products and heavy metals. *Nature Management*. 2019, no. 1, pp. 76–90.

Введение. В обеспечении экологически комфортного состояния городской среды значительная роль принадлежит почвенному покрову, который в условиях города выполняет ряд специфических экологических функций. В частности, почвы являются основой для произрастания растений, обладают санитарными и антисептическими свойствами по отношению к биологическим загрязнителям, сорбируют загрязняющие вещества, предотвращая их поступление в поверхностные и подземные воды. Разнообразное техногенное воздействие на городские почвы приводит к изменению их естественных свойств и формированию техногенно-трансформированных почвенных образований, качественные и количественные показатели которых значительно отличаются от природных аналогов. Помимо изменений морфологических характеристик, связанных с нарушением почвенного профиля и наличием включений строительных и коммунальных отходов, бытового мусора, происходит изменение водно-физических и физико-химических свойств почв, а также накопление в них избыточного количества химических веществ техногенного происхождения, что приводит к химическому загрязнению городских земель [1–4].

Загрязнение земель оказывается на почвенном биоразнообразии, снижает запасы органического вещества, изменяет баланс питательных веществ, фильтрующую способность почв, приводит к увеличению риска негативных последствий для людей и биоты. Загрязненная тяжелыми металлами и нефтепродуктами почва становится вторичным источником загрязнения приземного слоя атмосферы, природных поверхностных и подземных вод, жилой и производственной среды.

В последние годы проблемы экологически безопасного использования химически загрязненных территорий приобретают все большее значение во многих развитых странах мира. В странах Евросоюза особое внимание уделяется выявлению и рекультивации загрязненных земель, приуроченных к полигонам отходов, промышленным предприятиям, бывшим военным базам, местам аварий с утечками (выбросами) опасных химических веществ, так как уровень загрязнения этих участков не удовлетворяет требованиям экологически безопасного землепользования. Осознана необходимость принятия экстренных мер по очистке загрязненных территорий и их регламентации для определения возможности дальнейшего использования [5].

В Беларуси проблема обращения с загрязненными землями в последнее время также является весьма актуальной. Это связано, с одной стороны, с накоплением данных об ухудшении состояния почв в городах, их загрязнении и деградации, с другой – необходимостью использования загрязненных территорий, как вновь осваиваемых, так и при смене их функционального назначения. Последнее наиболее часто возникает при размещении объектов нового строительства. При этом проблема, например, при строительстве жилых зданий в Минске, возникает при их размещении в пределах жилых, общественных или промышленных зон, так как в городе в любой из этих зон доля загрязненных территорий превышает 50 % [6].

Оценка современного состояния почв в городах. Наиболее полно состояние городских почв оценивается по результатам наблюдений за химическим загрязнением земель, проводимого в рамках Национальной системы мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь (НСМОС) [7, 8]. По данным мониторинга, среднее за 2000–2016 гг. содержание кадмия и никеля в почвах городов Беларуси находилось в пределах фонового уровня и составило 0,39 и 5,5 мг/кг соответственно. Для цинка данные показатели составляют 37,3 мг/кг (в 1,9 раз выше фона), меди – 7,8 (1,6), свинца – 12,7 (1,5), хрома – 5,4 (1,3) и нефтепродуктов – 69,0 мг/кг (в 2,3 раза выше фона). Средние содержания всех рассматриваемых загрязняющих веществ ниже гигиенических нормативов, однако величины некоторых из них (кадмия, цинка и нефтепродуктов) приближаются к предельно допустимым значениям (табл. 1).

Таблица 1. Среднее содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов (НП) в почвах городов Беларуси, мг/кг [7, 8]

Регион, город	Тяжелые металлы					НП
	Cd	Zn	Pb	Cu	Ni	
Города Беларуси в целом (по данным НСМОС 2000–2016 гг.)	0,39	37,3	12,7	7,8	5,5	69,0
Минск (2013–2015 гг.)	0,19	57,1	20,4	17,1	6,3	133,7
Фоновые территории (по данным НСМОС 2000–2016 гг.)	0,37	19,6	8,2	5,0	4,8	29,9
ПДК (ОДК) [9]	0,5	55,0	32,0*	33,0	20,0	100,0**

* [10], ** [11].

Уровень загрязнения почв отдельных городов характеризуется высокой контрастностью, о чем свидетельствуют максимальные выявленные концентрации загрязняющих веществ в городах Беларусь (по данным НСМОС): для кадмия 2,25 мг/кг (в 6,1 раза выше фона или 4,5 ОДК), цинка – 1472,2 (75,1 или 26,7 ОДК), свинца – 262,5 (32,0 или 8,2 ПДК), меди – 106,9 (21,4 или 3,2 ПДК), никеля – 49,9 (10,4 или 2,5 ПДК), нефтепродуктов – 14 043,3 мг/кг (в 407 раз выше фона или 140,4 ПДК).

В почвах г. Минска содержание кадмия составляет в среднем 0,19 мг/кг, цинка – 57,1, свинца – 20,4, меди – 17,1, никеля – 6,3, нефтепродуктов – 133,7 мг/кг. При этом средние концентрации цинка и нефтепродуктов в почвах Минска выше гигиенических нормативов в 1,1 и 1,3 раза, соответственно. Следует отметить, что загрязнение почв нефтепродуктами выше допустимого уровня фиксируется более чем в половине проб, отобранных на территории г. Минска (55,6 %). Превышение допустимых концентраций цинка отмечается в 38,1 % проб, свинца – в 19,8 %. Это свидетельствует о том, что на большей части территории города почвы загрязнены выше допустимого уровня (не учитывая промплощадки предприятий).

Значительной неоднородностью характеризуется пространственная структура загрязнение почв на территории городов. Различия по встречаемости содержаний загрязняющих веществ, превышающих гигиенические нормативы в почвах различных функциональных зон г. Минска, приведены в табл. 2.

Как следует из табл. 2, приоритетными загрязняющими веществами почв на территории жилых зон являются кадмий, цинк и свинец, концентрации которых превышают гигиенические нормативы соответственно в 34 %, 33 % и 18,4 % исследованных проб почв.

Концентрации тяжелых металлов в почвах производственных зон характеризуются самой высокой в городе вариабельностью значений. Наибольшая встречаемость проб с превышениями ПДК (ОДК) зафиксирована для кадмия и цинка – 48 и 23 % проанализированных проб почв. Для свинца и меди данные показатели составляют 15 %. Следует отметить, что именно в производственной зоне установлено максимальное для города содержание большинства рассматриваемых элементов. Выборочное обследование промышленных площадок Минского тракторного (МТЗ), автомобильного (МАЗ) и подшипникового заводов показало, что встречаемость превышающих ПДК (ОДК) значений по цинку, кадмию, меди и никелю достигает 100 %, а максимальные превышения гигиенических нормативов достигают 20–22 раз [6].

Для почв общественных зон высока доля проб почв с превышениями гигиенических нормативов по кадмию (54 %), цинку (23), свинцу (18) и меди (4 %), что обусловлено совокупностью техногенных факторов, прежде всего наличием техногенных загрязненных грунтов («культурного горизонта») и выбросами автотранспорта.

Содержание тяжелых металлов в почвах ландшафтно-рекреационных зон сходно с аналогичными данными для жилых зон. При этом встречаемость проб с превышениями ПДК (ОДК) для большинства металлов ниже, чем в других зонах: по цинку – 8,2 %, свинцу – 6, меди – 2 и никелю – 1,4 %.

Исследования, выполненные в 2017–2018 гг. в г. Минске на 11 участках, предназначенных для нового строительства, показали, что проблема загрязнения почв в различных функциональных зонах города сохраняется (рис. 1–5).

Почвы промплощадок (3 участка) по содержанию в них химических веществ характеризуются различными уровнями загрязнения в зависимости от специфики производства и продолжительности воздействий. На производственных территориях среднее содержание нефтепродуктов в слое 0–20 см в 15,7 раза выше среднего для Минска значения и в 4,2 раза выше ПДК (500 мг/кг), а максимальное достигает 137 ПДК. Наиболее загрязненные почвы приурочены к местам подземного хранения нефтепродуктов. Разнообразие и территориальный разброс источников загрязняющих веществ обусловили мозаичную структуру загрязнения почв большинством тяжелых металлов. Наиболее загрязнены почвы кадмием – от 1,4 до 126,6 ОДК, цинком – от 1,1 до 19,6 ОДК, свинцом – от 1,4 до 5,1 ПДК, медью – от 1,1 до 10,7 ОДК, никелем – от 1,1 до 27,1 ОДК и хромом – от 1,2 до 5,1 ПДК, что позволяет отнести земли промплощадок к территориям с низкой, средней, высокой и очень высокой степенью загрязнения. Глубина проникновения в почву загрязняющих веществ в отдельных случаях достигает 150 см.

Таблица 2. Встречаемость концентраций загрязняющих веществ в почвах различных функциональных зон г. Минска, превышающих гигиенические нормативы, % [6]

Table 2. The occurrence of concentrations of pollutants in the soils of various functional areas of Minsk, exceeding hygienic standards, % [6]

Функциональная зона	Химический элемент				
	Cd	Pb	Zn	Cu	Ni
Ландшафтно-рекреационная	31,6	6,0	8,2	2,0	1,4
Жилая	34,0	18,4	32,7	2,0	5,3
Производственная	48,0	15,0	23,0	15,0	11,0
Общественная	54,0	18,0	23,0	14,0	12,0

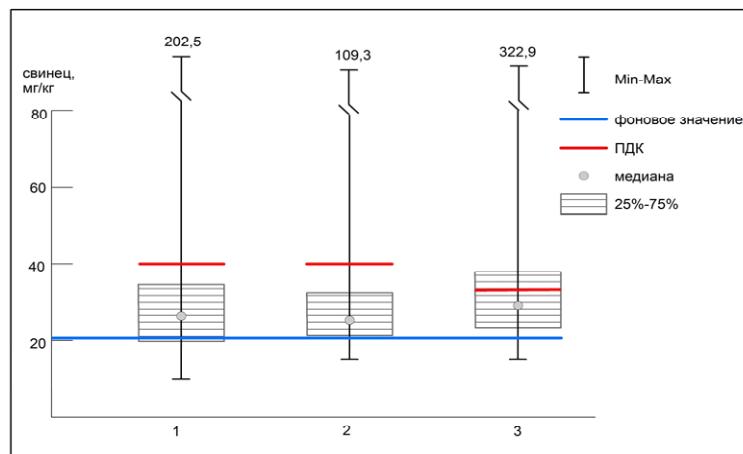


Рис. 1. Содержание свинца в почвах на участках нового строительства в Минске (2017–2018 гг.).
Функциональные зоны: 1 – промышленная, 2 – транспортно-складская, 3 – жилая усадебная

Fig. 1. Lead content in soils at new construction sites in Minsk (2017–2018).
Functional zones: 1 – industrial, 2 – transport and warehouse, 3 – residential manor

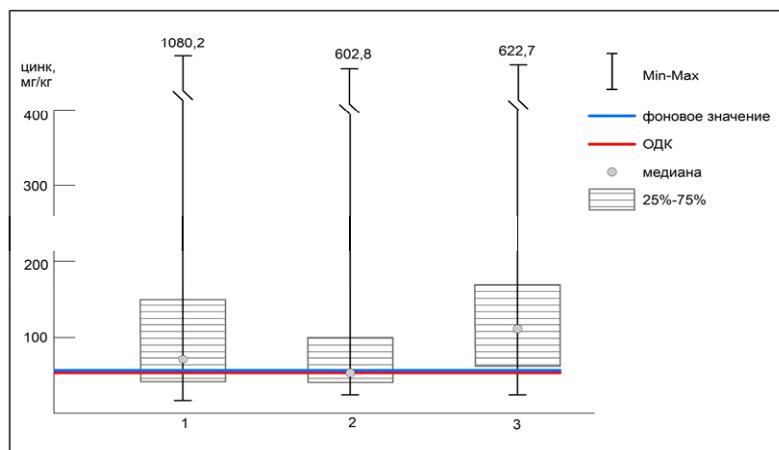


Рис. 2. Содержание цинка в почвах на участках нового строительства в Минске (2017–2018 гг.)

Fig. 2. Zinc content in soils at new construction sites in Minsk (2017–2018)

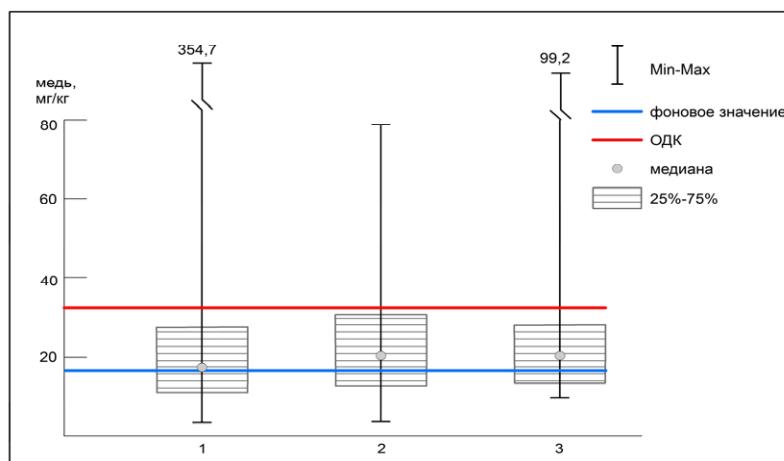


Рис. 3. Содержание меди в почвах на участках нового строительства в Минске (2017–2018 гг.)

Fig. 3. The copper content in the soil in the areas of new construction in Minsk (2017–2018)

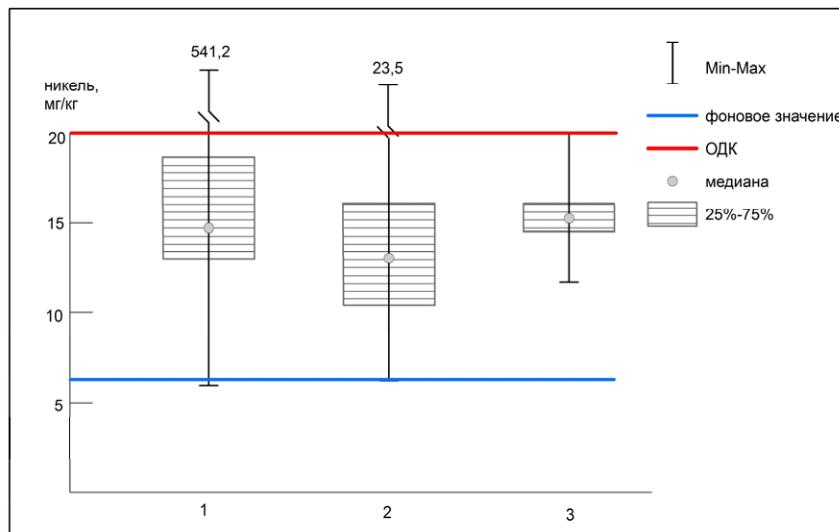


Рис. 4. Содержание никеля в почвах на участках нового строительства в Минске (2017–2018 гг.)

Fig. 4. Nickel content in soils at new construction sites in Minsk (2017–2018)

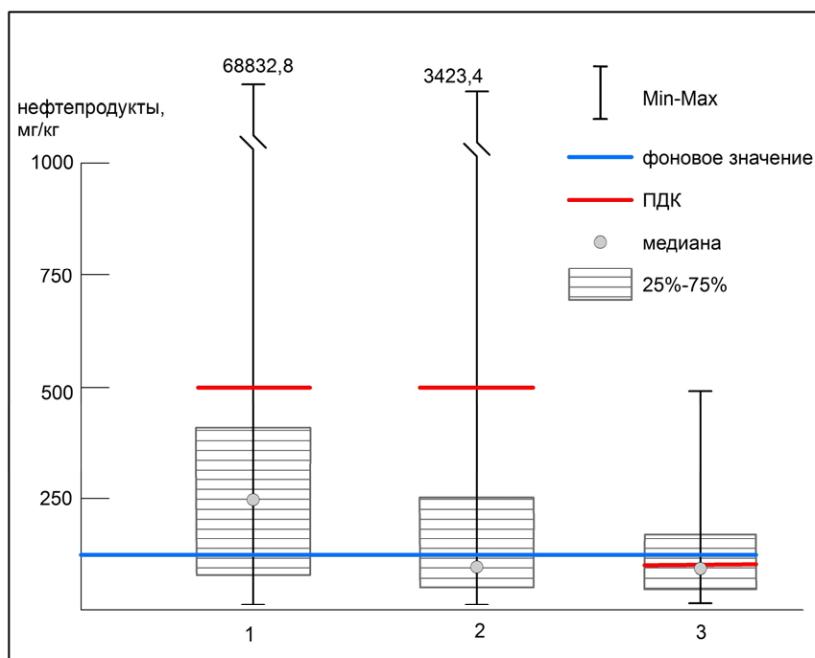


Рис. 5. Содержание нефтепродуктов в почвах на участках нового строительства в Минске (2017–2018 гг.)

Fig. 5. The content of petroleum products in the soil in the areas of new construction in Minsk (2017–2018)

В почвах транспортно-складских зон (3 участка) основным загрязняющим веществом являются нефтепродукты, повышенные концентрации которых отмечаются до глубины 50 см. В слое 0–20 см среднее содержание нефтепродуктов составляет 362,8 мг/кг (в 2,7 раза выше среднего для Минска значения и в 3,6 раза выше ПДК). На отдельных участках концентрации вещества в десятки раз превышают допустимый уровень (32,5–34,2 ПДК), что позволяет отнести данные земли к территориям с высокой степенью загрязнения. Среднее содержание цинка в верхнем слое почвы составляет 82,4 мг/кг (в 1,4 раза выше среднего для города значения и равно 1,5 ОДК), максимальное достигает 10,9 ОДК. Концентрация кадмия, свинца, меди и никеля на отдельных участках в 3,7–7,4 раз выше среднегородского значения и в 1,1–3,4 раза выше гигиенических нормативов.

На одном из участков с частными гаражами загрязнение почв сформировано главным образом нефтепродуктами. Их среднее содержание здесь в верхнем 20-см горизонте почв составляет

186,5 мг/кг, что в 1,4 раз выше среднего и в 1,8 – гигиенического норматива, при этом максимальное значение в 17,1 раз выше среднегородского значения и в 23 раза – ПДК. В местах разливов (утечек) нефтепродуктов загрязнение прослеживается до 2-2,5 м с превышением допустимого уровня от 3,7 до 7,6 раз. Максимальные зафиксированные величины свидетельствуют о высокой степени загрязнения земель данным веществом.

На участках индивидуальной застройки, запланированных к сносу (4 участка), в верхнем горизонте почв отмечается избыточное накопление цинка, свинца, кадмия и нефтепродуктов. Среднее содержание цинка достигает 137,6 мг/кг, что в 2,4 раза выше среднего для города значения и составляет 2,5 ОДК, максимальное – 622,7 мг/кг (10,9 раз и 11,3 ОДК соответственно). Для свинца данные показатели составляют 43,1 мг/кг (2,1 и 1,3 ПДК) и 322,9 мг/кг (15,8 и 10,1 ПДК), что свидетельствует о низкой и средней степени загрязнения почв. На большей части индивидуальной застройки отмечается низкая степень загрязнения почв кадмием, при этом максимальная зафиксированная на локальном участке концентрация металла превышает гигиенический норматив в несколько десятков раз. Среднее содержание нефтепродуктов в 20-см слое почв в 1,4 раза превышает гигиенический норматив и составляет 139,5 мг/кг, достигая на отдельных локальных участках 4,9 ПДК, что свидетельствует о низкой степени загрязнения земель НП на территории усадебной застройки.

Исследование участка, расположенного в границах жилой многоквартирной зоны, выявило накопление в почвах меди и никеля, средние содержания которых на участке превышают средние для Минска значения в 1,2 и 2,5 раза. Превышений над гигиеническими нормативами при этом не отмечается.

В связи с наличием на городской территории различных по площади, распространенности и локализации загрязненных участков возникла необходимость унифицировать подходы к их изучению и оценке для принятия последующих решений по обращению с загрязненными грунтами с целью снижения экологических рисков для населения и экосистем. С этой целью разработан пошаговый алгоритм действий по обращению с химически загрязненными землями.

Алгоритм действий при исследовании городских почв. Исследование, оценка и последующая очистка загрязненных земель проводятся в несколько этапов, включающих камеральные и полевые работы:

сбор информации об объекте исследований: название, местоположение, принадлежность, картографическая основа, границы загрязненной территории; природные особенности исследуемого участка, данные об источниках и путях поступления загрязняющих веществ в почву; фоновые и архивные данные о состоянии земель, в том числе сведения о возможных авариях на исследуемой территории. В зависимости от детальности имеющейся информации загрязненные почвы можно разделить на фактически загрязненные, когда информация о загрязнении подтверждена химико-аналитическими методами, и на потенциально загрязненные, когда имеется информация о техногенных химических нагрузках, приведших к загрязнению почв в аналогичных условиях, или имеются визуально определяемые признаки загрязнения («выжженная» растительность, наличие на поверхности химических веществ в жидком или порошкообразном виде, замасленные пятна, выцветы солей на поверхности почвы и др.). Загрязненные почвы в свою очередь можно разделить на детально изученные с оконтуренными почвенно-геохимическими аномалиями и на недостаточно изученные, по которым имеются единичные измерения с зафиксированными высокими содержаниями химических веществ и которые требуют проведения дополнительных исследований для определения состава загрязняющих веществ, площади, глубины и степени загрязнения почв;

предварительное обследование территории с уточнением рельефа местности и структуры элементарных геохимических ландшафтов, взаиморасположения открытых и запечатанных территорий, наличия/отсутствия явных или потенциальных источников загрязнения почв, возможных путей миграции загрязняющих веществ, нанесение на предварительно подготовленную картосхему или космоснимок местоположения пробных площадок для описания состояния и отбора проб почв;

выбор критерия оценки загрязнения почв химическими веществами (фоновое содержание химического вещества в почвах и/или его гигиенический норматив);

определение/уточнение перечня химических веществ, требующих изучения с учетом имеющейся информации по изучаемому участку и прилегающей территории и видов воздействий на почву;

детальное исследование территории с отбором на пробных площадках проб почв и проведение химико-аналитических работ по определению содержания в них химических веществ и показателей;

анализ полученных данных о фактическом содержании химических веществ в почвах исследуемой территории, их площадном и радиальном распространении; составление картосхем пространственного распределения химических веществ для каждого интервала глубин, определение уровней загрязнения почв, а также площади и глубины загрязнения и объеме загрязненной земли.

выбор метода очистки (обезвреживания) и обращения с загрязненными землями, разработка рекомендаций по очистке;

разработка рекомендаций по рекультивации земель и использованию очищенных земель (при необходимости).

Сбор информации о территории исследований. Источниками информации о загрязнении земель в городах Беларусь являются данные НСМОС по химическому загрязнению почв, включая локальный мониторинг земель, результаты аналитического, ведомственного или производственного контроля в области охраны окружающей среды, исследования, проводимые при разработке ТЕР-КСООС, региональных схем использования и охраны земельных ресурсов, схем землеустройства, предпроектных и проектных изысканий, результаты оценки воздействия на окружающую среду планируемой хозяйственной деятельности, а также научные эколого-геохимические исследования на региональном или локальном уровнях и другие исследования, при которых определяется концентрация химических веществ в почвенном покрове.

Определенная проблема в использовании данных источников информации заключается в разрозненности имеющихся данных (различные подходы к схемам и глубинам отбора проб почв, определяемым в почвах химическим веществам и показателям, методикам химико-аналитических исследований, критериям оценки) и, как следствие, сложности в сопоставлении и обобщении имеющейся информации.

Базы данных по загрязненным землям составляются только при ведении мониторинга НСМОС, остальная информация не систематизирована и имеет различную ведомственную принадлежность и различную форму представления. Единая база данных по загрязненным землям в масштабе страны также отсутствует.

Наибольшее внимание при эколого-геохимических исследованиях почв уделяется тяжелым металлам и нефтепродуктам, реже – водорастворимым веществам, в отдельных случаях – ПХБ и ПАУ. При наблюдениях за химическим загрязнением почв в городах в рамках НСМОС, в перечень загрязняющих веществ входят кадмий, свинец, цинк, медь, никель, марганец и хром, а также нефтепродукты, нитраты и сульфаты. При локальном мониторинге земель перечень загрязняющих веществ определяется специализацией предприятия и функционирующими на территории промплощадки производствами. Наиболее часто определяемыми химическими веществами являются кадмий, свинец, цинк, медь, никель, хром, а также мышьяк и ртуть. На отдельных предприятиях химической отрасли в почвах промплощадок определяют кадмий, цинк, ПАУ и нефтепродукты.

При использовании в эколого-геохимических исследованиях атомно-эмиссионного спектрального анализа в почвах определяется содержание широкого спектра микроэлементов, включающих кроме тяжелых металлов титан, ванадий, цирконий, барий, железо и другие, однако точность результатов определения невысока.

Проведение полевых исследований. Методика изучения почв в городах разрабатывается исходя из целей и задач исследований и основывается на нормативно-методических документах, действующих на момент обследования.

Первый этап натурных (полевых) исследований предусматривает рекогносцировочное обследование территории, уточнение ее расположения, функционального использования и ландшафтно-геохимических особенностей, выявление возможных источников загрязнения земель. На этом же этапе выбирается схема отбора проб почв, намечаются пробные площадки для отбора проб земель (почв). Составляется предварительная схема местоположения пробных площадок и точек отбора. Выбор схемы отбора, площади и местоположения пробных площадок и точек отбора проб почв зависит от целей и задач исследований.

При мониторинге городских земель в составе НСМОС отбор проб почв проводится по ортогональной сетке с площадью ячеек не более 4 м^2 , при этом пробная площадка размером от $5 \text{ м} \times 5 \text{ м}$ до $25 \text{ м} \times 25 \text{ м}$ закладывается в ячейке на участке земной поверхности с перепадом относительных высот не более 0,5 м и стабильным использованием земель [12].

При исследовании промышленных предприятий схема отбора зависит от наличия и местоположения свободных от застройки территорий и определяется на основе результатов предварительного обследования, которое проводится с использованием методов почвенно-геохимической съемки и ландшафтно-геохимического профилирования с учетом расположения источников и характера загрязнения, особенностей рельефа местности и типа почв. Количество пробных площадок в зависимости от площади объекта может составлять от не менее 2 до более 20. Пробная площадка должна иметь площадь не менее 20 м^2 [13].

При контроле загрязнения земель пробные площадки размещаются равномерно по всей обследуемой территории. Их количество определяется площадью контролируемой территории и изменяется от 2 пробных площадок при площади территории менее 1000 м^2 до 20 и более при площади территории более $10\,000 \text{ м}^2$ [14]. Следует отметить, что если площадь изучаемой территории составляет

ляет несколько гектаров, то количество закладываемых на ней пробных площадок может быть недостаточным для объективной оценки состояния земель по содержанию в них химических веществ в случае, если ореолы загрязнения имеют небольшую площадь – до 100–200 м².

В то же время согласно ГОСТ 17.4.3.01-83, который также может быть использован при изучении почв, площадь пробной площадки, где отбирается одна объединенная почвенная пробы, составляет от 1 до 5 га – при однородном почвенном покрове и от 0,5 до 1 га – при неоднородном, что еще больше затрудняет выявление мелкоконтурных участков загрязнения [15]. При этом пробные площадки на почвах, загрязненных предположительно равномерно, намечают по координатной сетке с равными расстояниями, при неравномерном загрязнении – с неравномерными расстояниями между линиями. Однако практически определить характер загрязнения при отсутствии визуально диагностируемых загрязненных участков не представляется возможным, что делает выбор схемы отбора проблематичным. Эта же проблема существует при выборе пробных площадок при локальном загрязнении почв с использованием концентрических окружностей, расположенных на дифференцированных расстояниях от источника загрязнения.

При научных исследованиях городов местоположение пробных площадок приурочено к различным функциональным зонам, в пределах которых производится отбор проб почв [6, 16]. При исследовании природных комплексов в пределах городской черты может использоваться метод ландшафтно-геохимического профилирования, при котором пробные площадки закладываются по линии профиля, охватывающего различные ландшафты и почвы с различными физико-химическими характеристиками [2].

На втором этапе проводится дешифрирование материалов аэрокосмических съемок изучаемой территории с использованием ГИС-технологий, составляются схемы исследуемой территории с нанесением на них пробных площадок и точек отбора проб почв.

На третьем этапе полевых исследований проводится опробование почв на пробных площадках. Как правило, отбор проб производится из верхнего слоя почв методом конверта, при котором отбираются 5 точечных проб, из которых путем перемешивания и квартования формируется объединенная пробы.

Глубина отбора в зависимости от используемых в качестве основы нормативных документов и может несколько различаться, что в ряде случаев делает сопоставление данных, полученных из различных информационных источников, не совсем корректным. При мониторинге земель глубина отбора составляет 0–20 см [12, 13]. При контроле загрязнения интервалы глубин составляют 0–20 см, 20–50, 50–100 см и далее по профилю через каждые 50 см при условии наличия загрязнения [14]. В то же время, согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017, отбор проб из приповерхностного слоя почвы может производиться дифференцированно с глубин 0–5 и 5–20 см [17].

При ландшафтно-геохимическом профилировании может закладываться шурф и производиться отбор почвенных проб из основных генетических горизонтов. Такой подход к отбору проб предполагает наличие на участке естественных почв с ненарушенным почвенным профилем. Чаще всего ландшафтно-геохимический профиль закладывается в различных геохимических ландшафтах и включает разные почвенные разновидности.

Определение фона. В качестве фона для оценки состояния городских земель чаще всего используются результаты наблюдений за химическим загрязнением почв в составе НСМОС. Это могут быть данные о состоянии почв на фоновых территориях (средние значения, рассчитанные за многолетний период или данные последнего тура наблюдений, полученные для всей территории Беларуси или административной области) или непосредственно на территории города (информация имеется для городов, входящих в перечень населенных пунктов, где проводятся наблюдения за химическим загрязнением почв). В последнем случае в качестве фона для исследуемого участка можно использовать среднее значение, рассчитанное для городов Беларуси в целом, для городов отдельных областей или данные по конкретному городу. Также в зависимости от целей и задач исследований можно использовать минимальное отмеченное для города значение содержания химического вещества в почве или зафиксированная на данный момент определенная величина, которая может быть использована в качестве точки отсчета для оценки состояния городской территории. Данные по городам дают представление о «техногенном геохимическом фоне», характерном для территорий с постоянным воздействием разнообразных источников загрязнения.

Несколько иной подход к выбору фоновой территории используется в [18], где под фоном понимается участок земной поверхности, имеющий характеристики земель и почв, сходные с исследуемой территорией, прежде всего по функциональному использованию. Выбор фонового участка в этом случае производится с соблюдением определенных условий. Он должен быть расположен на расстоянии не менее 100 м от границы контролируемой территории, на территории производственных объектов – в границах объекта на максимальном удалении от обследуемой территории и имеющихся на предприятии источников загрязнения. На выбранном фоновом участке закладывается одна пробная

площадью не менее 250 м², форма которой должна приближаться к квадрату или прямоугольнику. Отбор проб проводится по двум диагоналям, на каждой из которых отбирается 9 точечных проб, из которых формируются объединенные пробы в соответствии с [18]. При этом химический состав почв на данном фоновом участке формируется в том числе под воздействием техногенных источников загрязнения, функционирующих на городской территории.

Также в качестве фона, в частности, при научных эколого-геохимических исследованиях, могут использоваться данные о состоянии почв особо охраняемых природных территорий [19, 20], прилегающих к населенному пункту (периферийных) территорий [2, 16], ландшафты-аналоги [21].

Преимущество данных подходов заключается в большем охвате разнообразных ландшафтно-геохимических условий по сравнению с данными, полученными при мониторинге в составе НСМОС, где основным преимуществом является минимальная техногенная составляющая в полученных фоновых значениях, которые определяются на луговых землях с ненарушенным почвенным и растительным покровом и незначительном воздействии источников загрязнения.

Оценка степени/уровня загрязнения почв. В качестве критерия при оценке уровней и опасности химического загрязнения городских почв используются фоновые значения и предельно-допустимые концентрации (ПДК) или ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) загрязняющих веществ в землях (почвах).

При разработке гигиенических нормативов для ряда химических веществ используется принцип деления городской территории по ее функциональному назначению, в соответствии с которым установлены ПДК для валового содержания свинца, мышьяка и ртути (табл. 3).

Для нефтепродуктов ПДК установлены по категориям земель, при этом для населенных пунктов норматив составляет 100 мг/кг (табл. 4). Для кадмия, цинка, меди и никеля используются ОДК с учетом гранулометрического состава почв и их кислотно-щелочных условий [9]. Для остальных элементов гигиенические нормативы единые вне зависимости от гранулометрического состава почв и функционального использования земель.

Таблица 3. Предельно допустимые концентрации химических веществ в почвах (землях) с учетом функционального использования территории [10, 22]

Table 3. Maximum permissible concentrations of chemical substances in soils (lands) taking into account the functional use of the territory [10, 22]

Виды территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территории населенных пунктов	Валовое содержание элемента, мг/кг		
	Свинец	Ртуть	Мышьяк
Жилые зоны	32,0	0,5	2,0
Общественно-деловые зоны	32,0	2,5	10,0
Производственные зоны	40,0	2,5	10,0
Зоны транспортной, инженерной инфраструктуры	40,0	0,5	2,0
Рекреационные зоны	32,0	0,5	2,0
Сельскохозяйственные зоны	32,0	0,5	2,0
Зоны специального назначения	40,0	2,5	10,0
Иные территориальные зоны, определенные законодательством	40,0	2,5	10,0

Таблица 4. Предельно допустимые концентрации нефтепродуктов в землях (включая почвы) для различных категорий земель [11]

Table 4. Maximum permissible concentrations of petroleum products in lands (including soils) for various categories of lands [11]

Категории земель	Нормативы предельно допустимых концентраций нефтепродуктов в землях (включая почвы), мг/кг
Земли сельскохозяйственного назначения	50
Земли населенных пунктов, садоводческих товариществ, дачных кооперативов	100
Земли промышленности, транспорта, связи, энергетики, обороны и иного назначения	500
Земли природоохранного, оздоровительного, рекреационного, историко-культурного назначения	50
Земли лесного фонда	50
Земли водного фонда	50
Земли запаса	50

Методы оценки уровня (степени) загрязнения земель зависят от характера загрязнения. При моноэлементном загрязнении, согласно Инструкции 2.1.7.11-12-5-2004, оценка уровня загрязнения почв проводится по шкалам, разработанным отдельно для органических и неорганических веществ, в которых в качестве критерия оценки используется показатель кратности превышения ПДК конкретного вещества и даются категории почв по классам опасности [23].

Согласно [14], оценка степени загрязнения (деградации) городских земель проводится по четырем степеням деградации. Низкая степень деградации земель фиксируется при загрязнении от более 1,0 до 5,0 ПДК, средняя – от более 5,0 до 20,0 ПДК, высокая – от более 20,0 до 50,0 ПДК, очень высокая – более 50 ПДК. При отсутствии гигиенического норматива используются 2 фоновые величины (таблица 5).

При полиэлементном загрязнении земель (почв) традиционно используется формула для расчета суммарного коэффициента (показателя) загрязнения (Z_c) [14, 23, 24 и др.]. В классическом варианте данная формула имеет вид: $Z_c = \sum K_c - (n - 1)$, где n – число учитываемых аномальных элементов, K_c – коэффициент концентрации (отношение фактического содержания химического вещества в почве исследуемого участка к его фоновому значению). На основе Z_c дается классификация земель по категориям загрязнения в зависимости от степени опасности загрязнения почв: допустимое ($Z_c < 16$), умеренно опасное ($Z_c = 16-32$), опасное ($Z_c = 32-128$), чрезвычайно опасное ($Z_c > 128$).

В Инструкции 2.1.7.11-12-5-2004 для оценки загрязнения почв по Z_c коэффициент концентрации (K_c) рассчитывается по отношению к ПДК(ОДК) химических веществ в почве [23]. Однако при таком подходе большинство загрязненных территорий имеют допустимую степень загрязнения, так как перечень загрязняющих веществ ограничен и их количество в почвах незначительно превышают гигиенические нормативы.

Таблица 5. Степень деградации земель в результате химического загрязнения [14]

Table 5. The degree of land degradation as a result of chemical pollution [14]

Виды деградации земель	Показатели деградации земель	Интервалы значений показателей по степени деградации			
		низкая	средняя	высокая	очень высокая
Загрязнение земель химически-ми и иными веществами	превышение нормативов ПДК химических и иных веществ, или Z_c кратность раз	> 1,0–5,0	> 5,0–20,0	> 20,0–50,0	> 50,0
	превышение показателя фоновой концентрации при отсутствии установленного норматива (ПДК) химических и иных веществ, кратность раз	> 2,0–10,0	> 10,0–40,0	> 40,0–100,0	> 100,0

В практике научных эколого-геохимических исследований данная шкала многократно модифицировалась применительно к конкретным объектам, при этом чаще территории дифференцировались не по опасности загрязнения, а по уровню с выделением категорий от слабо- до сильно загрязненных [6, 16].

Согласно ТКП 17.03-02-2013, при оценке степени загрязнения земель по Z_c , рассчитанному по отношению к гигиеническим нормативам химических веществ (или 2 фоновым величинам) используются те же градации, что и для отдельных элементов (низкая, средняя, высокая и очень высокая степени загрязнения) [14]. Использование такой шкалы является наиболее целесообразным при оценке городских земель, так как на территории города встречаются все четыре степени деградации – от низкой (более 1,0 до 5,0 Z_c) до очень высокой (более 50,0 Z_c) (см. табл. 5).

Выбор метода очистки (обезвреживания) и обращения с загрязненными почвами. Очистка почв является одним из наиболее эффективных методов решения проблем, связанных с их загрязнением. К настоящему времени разработано достаточно много технологий, позволяющих очищать почвы от тяжелых металлов, радионуклидов, органических загрязнителей. По способу осуществления технологии подразделяются на две основные категории: осуществляемые на месте (*in situ*) без извлечения грунта и осуществляемые вне загрязненного участка (*ex situ*) с предварительной экскавацией загрязненного грунта.

Очистка почв, удаление/разрушение загрязняющих веществ возможна с применением биологических, химических, термических методов. Выбор наиболее приемлемой технологии очистки загрязненных территорий определяется совокупностью факторов, в том числе уровнем загрязнения, свойствами загрязняющих веществ, характером использования территории, физическими и химическими свойствами почв, доступностью технологии, ее экологичностью, стоимостью, срочностью выполнения работ и другими.

Для городов с высокой долей нефтезагрязненных почв при жестких гигиенических нормативах содержания вещества в почвах весьма актуальна задача очистки почв от нефтепродуктов, особенно в связи с размещением объектов нового строительства.

В мировой практике для очистки почв, загрязненных нефтепродуктами, чаще всего используются следующие виды очистки: микробиологические технологии с использованием штаммов почвенных микроорганизмов (биоремедиация); низкотемпературная термическая десорбция (при температуре 300–450 °С); фиторемедиация (с использованием растений); физико-химические методы очистки (просеивание, промывка и др.).

Для очистки загрязненных почв с концентрацией нефтепродуктов от 100 до 5 000 мг/кг наиболее оптimalен с учетом эффективности очистки, затрат на очистку и продолжительности очистки метод биоремедиации с использованием почвенных микроорганизмов. Для загрязненных почв (грунтов) на территории г. Минска может быть использован метод очистки за счет обогащения почвы гуминовыми кислотами торфа и органическим веществом биомассы микроорганизмов-деструкторов, разработанный Институтом микробиологии и Институтом природопользования НАН Беларуси. В качестве рабочего препарата используется биосорбционный препарат Родобел-ТН, разработанный и испытанный Институтом микробиологии НАН Беларуси.

Препарат представляет собой микроорганизмы-деструкторы углеводородов нефти иммобилизованные на торфе и сочетает в себе свойства сорбента нефти, деструктора нефти, рекультиватора очищаемой почвы за счет ее обогащения гуминовыми кислотами торфа и органическим веществом биомассы микроорганизмов-деструкторов. Действие препарата основано на способности микроорганизмов использовать нефтепродукты, содержащиеся в почве, в качестве источника питания. Диапазон действия препарата: pH 4–10; температура 3–45 °С, оптимум действия: pH 6,5–8,5; температура 15–32 °С.

Средний расход препарата составляет 350 кг на 1 т нефтепродуктов содержащихся в почве в слое до 30–35 см. Слои почвы, загрязненные на глубину более 50 см, должны быть извлечены и распределены по поверхности участка почвы, подлежащей очистке. В случае если нефтяные загрязнения старые или состоят из тяжелых фракций нефти – расход препарата увеличивается.

Микроорганизмы эффективно окисляют широкий спектр углеводородов нефти. Препарат обеспечивает очистку почвы со степенью загрязнения нефтепродуктами 100 ПДК (до 10 000 мг/кг) на 97–99 % за 2 месяца в весенне-осенний период. При концентрации меньше 1 000 мг/кг – в течение месяца.

На первом этапе работ осуществляется подготовка почвы: рыхление (при очистке грунтов без изъятия) или изъятие загрязненных почвогрунтов с последующей транспортировкой к месту очистки, выравниванием слоем 30–40 см и рыхлением. Далее в подготовленный грунт вносится микробный препарат Родобел-ТН, а также минеральные удобрения, производятся вспашка и культивация загрязненного слоя, поддерживается водный и воздушный баланс почвы, контролируется содержание нефтепродуктов в очищаемой почве.

Экологическая безопасность технологии очистки почв основана на полной деструкции нефти углеводородокисляющими микроорганизмами, входящими в состав препарата, не приводящей к накоплению токсичных промежуточных продуктов метаболизма в очищаемой почве. Препарат прошел успешную апробацию на предприятиях и хозяйствах республики и за рубежом, по деструктивной активности не уступает мировым аналогам Деворойл и Эконадин.

Стоимость работ по очистке нефтезагрязненных почв будет зависеть от степени их загрязнения и способа очистки (на месте или с изъятием), однако в любом случае она будет на порядок ниже по сравнению с предложениями зарубежных компаний.

Преимущества предлагаемого метода очистки: безвредность для окружающей среды, поскольку технология основана на естественных процессах самовосстановления и самоочищения природной среды; высокая эффективность очистки; минимальные затраты на оснащение площадок для очистки и на транспортировку загрязненных грунтов, поскольку площадка может быть подобрана вблизи их выемки; безотходность.

Также существует целый ряд методов очистки почв от загрязнения тяжелыми металлами [25]. В частности, метод их иммобилизации в земле предполагает смешивание почвы с цементом, известью, мелкозернистыми кремниевыми присадками, термопластическими вяжущими веществами или сорбентами (активизированным углем, глиной, цеолитом, силикатами) и водой. Данный метод можно применять как на загрязненной территории, так и посредством вывоза загрязненного грунта за ее пределы. Технология очистки отличается относительной простотой и низкой стоимостью, так как предусматривает применение обычного смесительного оборудования, используемого в строительстве. Снижение эффективности иммобилизации происходит за счет присутствия органических веществ, сульфатов или хлоридов, что требует постоянного мониторинга за состоянием почв.

Метод химического извлечения обеспечивает очистку почв с помощью растворителя, который затем отделяют от почвенного субстрата путем воздействия температуры и давления, очищается и возвращается обратно в экстрактор. Данный метод является весьма затратным, так как требует предварительной обработки земли, ее экскавации и транспортировки, а также утилизации образующихся отходов.

Фиторемедиация предполагает очистку почв от тяжелых металлов с использованием растений. Данный метод применяется непосредственно на месте загрязнения, не требует специального технологического оборудования, является экологически безопасным и сохраняет плодородие почв.

Несмотря на эффективность и экологичность выше перечисленных методов, их применение в Беларуси пока ограничено отсутствием специального оборудования и материалов, высокой себестоимостью и энергозатратностью, а также неразработанностью нормативно-законодательной базы, которая бы обязывала виновников загрязнения производить очистку загрязненных почв/земель.

Основным преимуществом метода изъятия и захоронения загрязненных почв является полное удаление с участка загрязняющих веществ и предотвращение рисков, связанных с ними. Однако изъятие грунта является наиболее дорогостоящим методом, когда необходимо удалить значительные объемы грунта. Кроме этого, необходимы значительные площади для захоронения изъятых грунтов.

Факторами, снижающими эффективность метода, являются: 1) ограничения по его применению в местах интенсивного землепользования (промышленное производство, общественная территория и т.д.) и увеличение расходов на изъятие загрязненных грунтов ввиду особого режима работ, 2) высокий риск распространения загрязненного грунта на прилегающие незагрязненные территории во время его изъятия и транспортировки.

Рекультивация земель. Состав работ по рекультивации земель зависит от свойств, количественных и качественных характеристик очищенных почв/почвогрунтов. Чаще всего рекультивация осуществляется в 2 этапа: технический и биологический.

На стадии технического этапа производится вертикальная планировка территории с минимальным объемом земляных работ, позволяющих сохранить существующие или вновь созданные формы рельефа, а также планировка участков, не допускающая развитие эрозионных процессов. При планировании на рекультивируемой территории объектов нового строительства необходимо обеспечить стабильность грунтов.

Далее из чистых грунтов создается рекультивационный слой, определяется его мощность и структура в зависимости от свойств пород, характера водного режима территории и дальнейших направлений ее использования.

На втором этапе рекультивации создается гумусовый горизонт почвы. Его основой могут быть как снятый почвенный плодородный слой на объектах нового строительства, так и вновь сформированный с внесением торфа, компостов, почвоулучшителей и органических удобрений.

Рекомендации по использованию очищенных земель разрабатываются с учетом существующего и перспективного использования земель, а также остаточного содержания загрязняющих веществ в подверженной очистке почве. При этом должна учитываться опасность распространения остаточных количеств загрязняющих веществ с поверхностным стоком, реэмиссией, поступления в подземные воды, накопления в растительности. Для предотвращения распространения загрязняющих веществ необходима разработка рекомендаций по снижению подвижности загрязняющих веществ в почве.

Заключение. Почвенно-геохимические исследования на объектах нового строительства, размещенного на месте сносимых объектов различного функционального назначения, подтвердили ранее выявленные [2, 6, 16 и др.] высокие уровни загрязнения почв на производственных территориях, в транспортно-складских зонах и на участках индивидуальной застройки. Основными загрязняющими веществами являются нефтепродукты и тяжелые металлы.

В связи с необходимостью унифицировать подходы к изучению и оценке загрязненных территорий для принятия последующих решений с целью снижения экологических рисков для населения и экосистем разработан пошаговый алгоритм действий по обращению с химически загрязненными землями, включающий сбор информации об объекте, предварительное обследование территории, выбор критериев оценки загрязнения почв химическими веществами, определение/уточнение перечня химических веществ, детальное исследование территории с отбором проб почв, анализ полученных данных, выбор метода очистки и разработку рекомендаций по рекультивации и использованию очищенных земель.

Выбор наиболее приемлемой технологии очистки загрязненных почв определяется уровнем загрязнения, свойствами загрязняющих веществ, характером использования территории, физическими и химическими свойствами почв, доступностью технологии, ее экологичностью, стоимостью и срочностью выполнения работ.

Для очистки почв, загрязненных нефтепродуктами, наиболее оптимальным с учетом затрат, эффективности и продолжительности очистки является метод биоремедиации с использованием почвенных микроорганизмов, разработанный Институтом микробиологии и Институтом природопользования НАН Беларусь.

Список использованных источников

1. Касимов, Н. С. Экология города / Н.С. Касимов [и др.]. – М.: Научный мир, 2004.
2. Городская среда: геоэкологические аспекты / В. С. Хомич [и др.]. – Минск : Бел. навука, 2013.
3. Алексеенко, В. А. Химические элементы в городских почвах / В. А. Алексеенко, А. В. Алексеенко. – М. : Логос, 2014.
4. Важкі метали у компонентах навколошнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти) / С. П. Кармазиненко, І. В. Кураєва, А. І. Самчук, Ю. Ю. Войтюк, В. Й. Манічев. – К. : Интерсервис, 2014.
5. Кухарчик, Т. И. Нормативно-правовые и научно-методические аспекты управления загрязненными территориями в зарубежных странах / Т. И. Кухарчик, В. С. Хомич, С. В. Какарека, М. И. Козыренко, И. И. Потапов, Е. П. Янин // Экономика природопользования. – 2010. – № 1. – М. : ВИНИТИ, 2010. – С. 35–48.
6. Хомич, В. С. Особенности загрязнения почв в различных функционально-планировочных зонах Минска / В. С. Хомич [и др.] // Природопользование. – 2009. – Вып. 16. – Мн., 2009. – С. 71–81.
7. Национальная система мониторинга окружающей среды в Республике Беларусь, 2015–2016 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ecoinfo.by/content/647.html/>. – Дата доступа : 11.01.2019.
8. Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень 2000–2014 г. – Мн., 2001–2015.
9. ГН 2.1.7.12-1-2004: Перечень ПДК и ОДК химических веществ в почве // Сборник нормативных документов по разделу коммунальной гигиены – Мн., 2005.
10. Нормативы предельно допустимых концентраций подвижных форм никеля, меди и валового содержания свинца в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных видов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов. – Утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 19.11.2009 № 125.
11. Предельно допустимые концентрации нефтепродуктов в землях (включая почвы) для различных категорий земель. – Утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 12.03.2012 № 17/1.
12. Инструкция о порядке проведения наблюдений за химическим загрязнением земель. – Утв. Приказом Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 30.07.2015 №250-ОД.
13. ЭкоНИП 17.01.06-001-2017 Охрана окружающей среды и природопользование. Требования экологической безопасности.
14. ТКП 17.03.02–2013 (02120) Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Правила и порядок определения загрязнения земель (включая почвы) химическими веществами – Мн.: РУП «БелНИЦ «Экология».
15. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
16. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик – Мн., 2004.
17. ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа
18. ТКП 17.03.01–2013 Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Правила и порядок определения фонового содержания химических веществ в землях (включая почвы). – Мн.: РУП «БелНИЦ «Экология».
19. Лукашёв, О. В. Фоновое содержание химических элементов в почвах и растительности особо охраняемых природных территорий Белорусского Поозерья / О.В. Лукашёв [и др.] // Природопользование. – 2009. – Вып. 16. – Минск, 2009. – С. 57–63.
20. Лукашёв, О. В. Ландшафтно-геохимические особенности территории Национального парка «Нарочанский» / О. В. Лукашёв [и др.] // Природопользование. – 2008. – Вып. 14. – Мн., 2008. – С. 129–134.
21. Мырлян, Н. Ф. Эколого-геохимический атлас Кишинева / Н. Ф. Мырлян, К. Е. Морару, Г. И. Настас. – Кишинев : Штиинца, 1992.
22. Нормативы предельно допустимых концентраций валового содержания ртути и мышьяка в землях (включая почвы), расположенных в границах населенных пунктов, для различных типов территориальных зон по преимущественному функциональному использованию территорий населенных пунктов. – Утв. Постановлением Министерства здравоохранения Республики Беларусь 04.08.2010 №107.
23. Инструкция 2.1.7.11-12-5-2004. Гигиеническая оценка почвы населенных мест. – Утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача Республики Беларусь 03.03.2004 № 32.
24. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. – М. : ИМГРЭ, 1982.
25. ТКП 17.03-03-2014 (02120) «Охрана окружающей среды и природопользование. Земли. Правила и порядок работ (услуг) по обращению с загрязненными землями (включая почвы) – Мн.: РУП «БелНИЦ «Экология», 2014.

References

1. Kasimov N. S. *Ekologija goroda* [City Ecology]. Moscow, 2004, 218 p. (in Russian).
2. *Gorodskaja sreda: geoekologicheskie aspekty* [Urban environment: geo-environmental aspects]. Minsk, 2013 (in Russian).
3. Alekseenko V. A., Alekseenko A. V. *Himicheskie elementy v gorodskih pochvah* [Chemical elements in urban soils]. Moscow, 2014 (in Russian).
4. Karmazinenko S. P., Kuraeva I. V., Samchuk A. I., Vojtyuk Y. U., Manichev V. J. *Vazhki metali u komponentah navkolishn'ogo seredovishcha m. Mariupol'* (ekologo-geochemicali aspekti) [Heavy metals in the environmental components of the city of Mariupol (ecological and geochemical aspects)]. Kiev, 2014 (Ukrainian).
5. Kukharchyk T. I., Khomich V. S., Kakareka S.V., Kazyrenka M. I., Potapov I. I., JAnin E. P. *Normativno-pravovye i nauchno-metodicheskie aspekty upravleniya zagryaznennymi territoriyami v zarubezhnyx stranax* [Regulatory and scientific and methodological aspects of the management of contaminated areas in foreign countries]. *Ekonomika prirodopolzovaniya = Environmental economics*. Minsk, 2010, vol.1, pp. 35–48 (in Russian).
6. Khomich V. S. *Osobennosti zagryazneniya pochv v razlichnyx funkcionialno-planirovochnyx zonax Minska* [Peculiarities of soil pollution in various functional planning zones of Minsk]. *Prirodopolzovanie = Nature management*, Minsk, 2009. vol.16, pp. 71–81 (in Russian).
7. *Nacionalnaya sistema monitoringa okruzhayushhej sredy v Respublike Belarus, 2015–2016* [National Environmental Monitoring System in the Republic of Belarus, 2015–2016]. Available at: <http://www.ecoinfo.by/content/647.html> (accessed : 11.01.2019) (in Russian).
8. *Sostoyanie prirodnnoj sredy Belarusi* [The state of the environment of Belarus]. *Ekologicheskij byulleten, 2000–2014 = Environmental Bulletin, 2000–2014*, Minsk, 2000–2015 (in Russian).
9. *GN 2.1.7.12 1 2004: Perechen' PDK i ODK himicheskikh veshchestv v pochve* [List of MPC and APC chemical substances in soil]. *Sbornik normativnyh dokumentov po razdelu kommunal'noj gigieny = Collection of regulatory documents on the section of municipal hygiene*, Minsk, 2005 (in Russian).
10. *Normativy predel'no dopustimyh koncentracij podvizhnyh form nikelya, medi i valovogo soderzhaniya svinka v zemlyah (vklyuchaya pochvy), raspolozhennyh v granicah naselennyh punktov, dlya razlichnyh vidov territorial'nyh zon po preimushchestvennomu funkcional'nому ispol'zovaniyu territorij naselennyh punktov* [Standards of maximum permissible concentrations of mobile forms of nickel, copper and total lead content in lands (including soils) located within the boundaries of populated areas for various types of territorial zones on the basis of primarily functional use of the territories of populated areas] (Ap. by the Resolution of the Ministry of Health of the Republic of Belarus of November 19, 2009 No. 125), Minsk, 2009 (in Russian).
11. *Predel'no dopustimye koncentracii nefteproduktov v zemlyah (vklyuchaya pochvy) dlya razlichnyh kategorij zemei'* [Maximum permissible concentrations of petroleum products in lands (including soils) for various categories of lands] (Ap. Resolution of the Ministry of Health of the Republic of Belarus of 12.03.2012 No. 17/1), Minsk, 2012 (in Russian).
12. *Instrukciya o poryadke provedeniya nablyudenij za himicheskim zagryazneniem zemei'* [Instructions on the procedure for conducting observations of chemical pollution of land] (Ap. Order of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus of July 30, 2015 No. 250-OD), Minsk, 2015 (in Russian).
13. *EkoNIP 17.01.06-001-2017 Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovanie. Trebovaniya ekologicheskoi bezopasnosti* [Environmental protection and environmental management. Environmental safety requirements], Minsk, 2017 (in Russian).
14. *TKP 17.03.02–2013 (02120) Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovanie. Zemli. Pravila i poryadok opredeleniya zagryazneniya zemei'* (vklyuchaya pochvy) himicheskimi veshchestvami [Environmental protection and environmental management. Of the earth. Rules and procedure for the determination of land pollution (including soils) by chemicals], Minsk, 2013 (in Russian).
15. *GOST 17.4.3.01-83 Ohrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob* [Protection of Nature. Soils. General requirements for sampling], Minsk, 1983 (in Russian).
16. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchyk T. I. *Ekogeohimiya gorodskih landshaftov Belarusi* [Ecogeochemistry of urban landscapes of Belarus], Minsk, 2004 (in Russian).
17. *GOST 17.4.4.02-2017 Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya himiche-skogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza* [The Nature Conservancy. Soils. Methods of selection and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis], Minsk, 2017 (in Russian).
18. *TKP 17.03.01–2013 Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovanie. Zemli. Pravila i po-ryadok opredeleniya fonovogo soderzhaniya himicheskikh veshchestv v zemlyah (vklyuchaya pochvy)* [Environmental protection and environmental management. Of the earth. Rules and procedure for determining the background content of chemicals in lands (including soils)], Minsk, 2013 (in Russian).
19. Lukashyov O. V. *Fonovoe soderzhanie himicheskikh elementov v pochvah i rastitel'nosti osobo ohranyaemyh prirodnyh territorij Beloruskogo Poozer'ya* [Background content of chemical elements in soils and vegetation of specially protected natural areas of the Belarusian Lake District]. *Prirodopolzovanie = Nature management*, Minsk, 2009. vol.16, pp. 57–63 (in Russian).
20. Lukashyov O. V. *Landshaftno-geochemicali osobennosti territorii Nacional'nogo parka «Narochanskij»* [Landscape and geochemical features of the territory of the National Park "Narochansky"]. *Prirodopolzovanie = Nature management*, Minsk, 2008. vol.14, pp. 129–134 (in Russian).
21. Myrlyan N. F., Moraru K. E., Nastas G. I. *Ekologo-geochemicali atlas Kishineva* [Ecological and geochemical atlas of Chisinau], Kishinev, 1992 (in Russian).
22. Normativy predel'no dopustimyh koncentracij valovogo soderzhaniya rtuti i mysh'yaka v zemlyah (vklyuchaya

- pochvy), raspolozhennyh v granicah naseleennyh punktov, dlya razlichnyh tipov teritorial'nyh zon po preimushchestvennomu funkcional'nому ispol'zovaniyu territorij naseleennyh punktov [Standards of maximum permissible concentrations of total mercury and arsenic in lands (including soils) located within the boundaries of settlements, for various types of territorial zones on the basis of primarily functional use of territories of settlements] (Ap. by the Decree of the Ministry of Health of the Republic of Belarus of 04.08.2010 No. 107), Minsk, 2010 (in Russian).
23. *Instrukciya 2.1.7.11-12-5-2004. Gigienicheskaya ocenka pochvy naseleennyh mest* [Hygienic assessment of soil in populated areas]. (Ap. Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Republic of Belarus of 03.03.2004 No. 32), Minsk, 2004 (in Russian).
 24. *Metodicheskie rekomendacii po geohimicheskoy ocenke zagryazneniya territorii gorodov himicheskimi elementami* [Methodical recommendations on the geochemical assessment of pollution of the territory of cities with chemical elements], Moskov, 1982 (in Russian).
 25. *TKP 17.03-03-2014 (02120) «Ohrana okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovanie. zemli. pravila i poryadok rabot (uslug) po obrashcheniyu s zagryaznennymi zemlyami (vklyuchaya pochvy)* [Environmental protection and environmental management. Of the earth. Rules and procedures for work (services) on handling contaminated land (including soils)], Minsk, 2014 (in Russian).

Информация об авторах

Хомич Валерий Степанович – д-р геогр. наук, зам. директора по науч. работе, зав. Центром экологии городов и трансграничного загрязнения, Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: valery_khomich@mail.ru

Савченко Светлана Валентиновна – канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: svscience@rambler.ru

Рыжиков Владимир Анатольевич – канд. геогр. наук, ст. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: ryghik24@tut.by

Глушень Елена Михайловна – канд. биол. наук, зав. лабораторией природоохраных биотехнологий, Ин-т микробиологии НАН Беларусь (ул. акад. В. Ф. Курочкина, 2, 220141, г. Минск, Беларусь). E-mail: elena_glushen@rambler.ru

Романкевич Юлия Александровна – науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: yuliya_romankevich@mail.ru

Зайнъ Эль-Динъ Ростом Малик – мл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь), E-mail: rostmcfc@mail.ru

Information about the authors

Valeriy S. Khomich – D.Sc. (Geography), Deputy Director on scientific work, Head of the Center for Urban Ecology and Transboundary Pollution, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: valery_khomich@mail.ru

Svetlana V. Savchenko – Ph.D. (Geology), Leading Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: svscience@rambler.ru

Vladimir A. Ryzhikov – Ph.D. (Geography), Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ryghik24@tut.by

Elena M. Glushen – Ph.D. (Biology), Head of Lab of Environmental Biotechnology, Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Kuprevich Str., 220141, Minsk, Belarus), E-mail: elena_glushen@rambler.ru

Yuliya A. Romankevich – Researcher, Institute for Nature Management of the national Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yuliya_romankevich@mail.ru

Rostom M. Zain El-Dinh – Junior Researcher, Institute for Nature Management of the national Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rostmcfc@mail.ru

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫБЫВШИХ ИЗ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГОМЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ С УЧЕТОМ ИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В. А. Ракович, Н. Н. Бамбалов

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведены результаты оценки воздействия выработанных торфяных месторождений Гомельской области на окружающую среду, включая их гидрологический режим и прилегающих территорий, загрязнение поверхностных и подземных вод продуктами разложения торфа, эмиссию диоксида углерода в атмосферу и изменение ландшафтов. Установлено, что 803 га сельскохозяйственных земель на выработанных торфяных месторождениях непригодны для этой цели и подлежат экологической реабилитации.

Ключевые слова: торфяное месторождение; Гомельская область; воздействие на окружающую среду.

Для цитирования. Ракович В. А., Бамбалов Н. Н. Направления рационального использования выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Гомельской области с учетом их воздействия на окружающую среду // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 91–97.

SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF THE DIRECTIONS OF USE PEAT DEPOSITS AFTER PEAT EXCAVATION OF THE GOMEL REGION TAKING INTO ACCOUNT THEIR ENVIRONMENTAL IMPACT

V. A. Rakovich, N. N. Bambalov

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

Abstract. Researches of effect of cutover peatlands effect on environment, including a hydrological mode of adjacent territories, pollution of superficial and underground waters by products of decomposition of peat, issue dioxide carbon in atmosphere and change of landscapes are resulted. The quantitative estimation of influence on environment is executed on an example of the cutover peatlands of Gomel region.

Key words: peat deposit; Gomel region; environmental impact.

For citation. Rakovich V. A., Bambalov N. N. Scientific substantiation of the directions of use peat deposits after peat excavation of the Gomel Region taking into account their environmental impact. *Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 91–97.

Введение. Исследования выбывших из эксплуатации торфяных месторождений Гомельской области выполнены в Институте природопользования НАН Беларусь в соответствии с приказом Государственного комитета по науке и технологиям Республики Беларусь от 25.03.2011 г. № 79 и Государственной научно-технической программой «Природные ресурсы и окружающая среда». Сущность работы состояла в обосновании наиболее целесообразного направления использования каждого выработанного торфяного месторождения или участка с учетом его природно-генетических особенностей, современного состояния, интересов и перспектив развития административного района, экономического и экологического эффекта использования.

Доля торфяных почв, используемых в сельском хозяйстве в Гомельской области превышает среднюю для Беларуси величину в 1,7 раза. Вместе с тем в Гомельской области нет районов с осушением более 30 % их территории.

В Гомельской области выработанные торфяные месторождения и участки используются в основном в сельском и лесном хозяйстве. Однако не всегда капиталовложения в сельскохозяйственную рекультивацию дают ожидаемый экономический эффект вследствие того, что не все торфяные месторождения по своим природным характеристикам (геоморфологическим, геологическим, гидрологическим, агрохимическим и др.) пригодны для создания на них сельскохозяйственных земель [1]. Неэффективное использование выработанных торфяных месторождений в сельском хозяйстве приводит к их зарастанию древесно-кустарниковой растительностью, и такие территории в Гомельской об-

ласти уже появились. Помимо экономических потерь от недобора сельскохозяйственной продукции, зарастание сельскохозяйственных земель на выработанных торфяных месторождениях древесно-кустарниковой растительностью усиливает степень их пожароопасности.

Существующая многолетняя практика использования выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений не всегда соответствует современным методам хозяйствования и природопользования, поэтому отдельные территории нуждаются в пересмотре направления использования с учетом новых научных знаний. Сложившаяся ситуация объясняется тем, что решения о направлении использования выработанных торфяных месторождений принимались на стадии проектирования промышленной разработки без достаточного научного обоснования.

В качестве исходных материалов для разработки научного обоснования мероприятий использованы кадастровый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР», «Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР на период до 2010 года», материалы геологических разведок и проекты на разработку торфяных месторождений, картосхемы особо охраняемых природных территорий, материалы космической съемки за последние два года, нормативные документы, данные, полученные от землеустроительной службы районов и в результате полевого обследования выработанных торфяных месторождений.

В Гомельской области выявлено 803 га сельскохозяйственных земель на выработанных торфяных месторождениях, направление использования которых не соответствует их природногенетическим свойствам: в Буда-Кошелевском – 53 га, Ветковском – 12, Гомельском – 391, Добрушском – 47, Калинковичском – 65, Лельчицком – 20, Наровлянском – 35, Рогачевском – 12, Светлогорском – 23, Чечерском – 145, а всего – 803 га. В Брагинском, Ельском, Житковичском, Жлобинском, Кормянском, Лоевском, Мозырском, Октябрьском, Петриковском, Речицком, Хойникском районах такие земли были, но они уже переведены в другие категории и виды (лесные, природоохранные, водохозяйственные, земли запаса, под древесно-кустарниковой растительностью, неиспользуемые) и в составе сельскохозяйственных земель не числятся (табл. 1).

Таблица 1. Распределение площадей выработанных торфяных месторождений по административным районам Гомельской области, га

Table 1. Distribution of the areas of developed peat deposits by administrative districts of the Gomel region, ha

Административный район	Площадь		Выработанные торфяные месторождения, переданные сельскому хозяйству			Сельскохозяйственные земли несельскохозяйственного назначения		Переданы другим	
	в нулевой границе залежи	выработанных торфяных месторождений	всего	пригодные	непригодные	под древесно-кустарниковой растительностью	под болотом	лесному хозяйству	под водоем
Брагинский	44 477	3017	263	263	–	191	208	1758	–
Буда-Кошелевский	7014	2266	483	430	53	98	15	1376	5
Ветковский	5657	1806	459	447	12	–	–	1347	–
Гомельский	10 617	4661	2984	2593	391	365	865	128	113
Добрушский	7521	2569	760	713	47	182	725	832	–
Ельский	12 654	660	72	72	–	24	–	564	–
Житковичский	26 569	4350	19	19	–	111	18	4202	–
Жлобинский	19 021	2879	623	623	–	282	–	1448	43
Калинковичский	36 171	4725	445	390	65	160	629	2913	1
Кормянский	1209	593	–	–	–	285	–	137	–
Лельчицкий	48 182	1372	434	414	20	86	–	670	182
Лоевский	2696	397	173	173	–	55	12	142	–
Мозырский	3833	248	26	26	–	–	–	167	55
Наровлянский	3227	273	35	–	35	–	–	225	–
Октябрьский	16 063	1472	753	753	–	59	–	660	–
Петриковский	25 607	1306	594	594	–	–	–	712	–
Речицкий	16 003	1696	429	429	–	113	–	1098	28
Рогачевский	9654	3587	1156	1144	12	130	5	2280	16
Светлогорский	26 813	6831	867	844	23	260,4	196	2826	1630,6
Хойникский	32 100	5105	308	308	–	971	413	3346	270
Чечерский	3789	711	193	48	145	130	14	374	–
ВСЕГО	358 877	50 524	11 086	10 283	803	3502,4	3100	27 205	2343,6

Остальные сельскохозяйственные земли на выработанных торфяных месторождениях используются в качестве сенокосов. Общая площадь сенокосов, подлежащих улучшению, составляет 10 283 га, в том числе: в Брагинском районе – 263 га, Буда-Кошелевском – 430, Ветковском – 447, Гомельском – 2593, Добрушском – 713, Ельском – 72, Житковичском – 19, Жлобинском – 623, Калинковичском – 390, Лельчицком – 414, Лоевском – 173, Мозырском – 26, Октябрьском – 753, Петриковском – 594, Речицком – 429, Рогачевском – 1144, Светлогорском – 844, Хойникском – 308, Чечерском – 48 га. В Наровлянском и Кормянском районах сенокосов нет, так как все сельскохозяйственные земли на выработанных торфяных месторождениях переведены в лесные земли и земли под древесно-кустарниковой растительностью.

При научном обосновании рекомендаций по изменению направлений использования выработанных торфяных месторождений была дана оценка их воздействия на окружающую среду, которая осуществлялась на основе ряда научных разработок [2–6], а также оценка продуктивности сенокосов.

Осушение и разработка торфяных месторождений оказывают сильное воздействие на окружающую среду, и если после завершения добычи торфа выработанные торфяные месторождения остаются в осушеннем состоянии, то независимо от направлений их использования – сельскохозяйственного, лесохозяйственного – они продолжают оказывать негативное воздействие на компоненты природной среды: поверхностные и подземные воды, водоприемники, атмосферу, ландшафты и биологическое разнообразие.

В результате добычи торфа природные и природно-хозяйственные функции торфяных месторождений коренным образом изменяются, либо полностью прекращаются.

Вместо аккумуляции торфа, энергии, биогенных элементов и воды происходят процессы обезвоживания торфяной залежи, разложения и минерализации органического вещества торфа с геохимическим выносом биогенных элементов за пределы торфяных месторождений.

Болотные ландшафты прекращают свое существование, а вместо них образуются антропогенно нарушенные, деградированные и пожароопасные территории. В связи с уничтожением местообитаний уничтожаются или вытесняются болотные и околоводные виды растений и животных.

Вместо перехода биогенных элементов из биологического круговорота в геологический происходит процесс обратного перехода биогенных элементов из геологического круговорота вещества в биологический, и этот процесс продолжается до тех пор, пока не минерализуется весь остаточный слой торфа.

Вместо обогащения атмосферы кислородом и очистки ее от избытка диоксида углерода происходят изъятие из атмосферы кислорода на биохимическое окисление остаточного слоя торфа и эмиссия в нее диоксида углерода в результате минерализации органического вещества.

Формирующийся на выработанных торфяных месторождениях гидрологический режим не обеспечивает выполнение их естественной водорегулирующей функции, поэтому она существенно ослабляется или полностью утрачивается, а осушающее действие сохранившихся каналов продолжает распространяться на прилегающие территории. Размеры зон влияния зависят от типа торфяного месторождения, его положения в рельфе, характера и гранулометрического состава грунтов, подстилающих остаточную торфяную залежь, и прилегающих территорий.

Осушенные слои остаточных торфяных залежей являются теплоизоляторами, вследствие чего усиливается негативное влияние атмосферных засух и заморозков, поэтому микроклимат как на выработанных торфяных месторождениях, так и на прилегающих к ним территориях становится более контрастным.

Воздействие каждого выработанного торфяного месторождения на окружающую среду оценивалось по следующим показателям: площадь, на которую распространяется осушающее действие, влияние на подземные воды и водоприемники, пожароопасность, эмиссия диоксида углерода в атмосферу, преобразование ландшафта.

Для оценки воздействия выработанных торфяных месторождений, в том числе и сельскохозяйственных угодий, на поверхностные и подземные воды были взяты минимальные величины годового стока растворенных веществ, равные 0,45 т/га органических и 0,55 т/га минеральных веществ [5–6], с учетом того, что эти территории используются для возделывания луговых трав.

Как известно, все выработанные торфяные месторождения в осушеннем состоянии являются пожароопасными территориями независимо от направлений их использования, причем наиболее опасны торфяные месторождения в заброшенном состоянии. Основной причиной возникновения пожаров является человеческий фактор и лишь в единичных случаях – природные явления, например, удар молнии или самовозгорание неиспользованных штабелей торфа. Факторами, влияющими на вероятность возникновения пожаров на выработанных торфяных месторождениях, являются: продолжительность периодов без дождей, уровни грунтовых вод, влажность и температура воздуха, сте-

пень разложения торфа, а также влажность и степень покрытия поверхности растениями, зависящие от направления использования.

Остаточный слой торфа выработанных торфяных месторождений минерализуется под воздействием микроорганизмов с образованием диоксида углерода, поступающего в атмосферу. При оценке этого вида воздействия выработанных торфяных месторождений на окружающую среду был использован национальный коэффициент эмиссии диоксида углерода, равный 7,7 т/га, обоснованный для торфяных почв, находящихся под пластом многолетних трав [2, 4], поскольку на таких территориях рекомендуется создавать только луговые угодья, а для лесных земель коэффициент эмиссии составляет 1,1 т/га.

Для осущенных зон торфяных месторождений, прилегающих непосредственно к выработанным участкам, принят коэффициент эмиссии, равный 5,0 т/га, потому что в этих зонах уровни грунтовых вод постепенно повышаются по мере удаления от выработанных участков, что снижает интенсивность минерализации торфа в осущенном слое.

В табл. 2 представлены данные о воздействии выработанных торфяных месторождений Гомельской области на окружающую среду, из которых видно их значительное осушающее воздействие на прилегающие территории. Так, общая площадь выработанных торфяных месторождений составляет 50 524 га, а осушающее действие каналов распространяется на площадь 57 854 га, т. е. общая осущенная площадь больше суммарной площади выработанной части всех торфяных месторождений области на 14,4 %. Это объясняется тем, что прилегающие к выработанным торфяным месторождениям суходольные территории в Гомельской области в основном сложены рыхлыми минеральными породами, в основном песками и в меньшей степени супесями.

Таблица 2. Воздействие выработанных торфяных месторождений Гомельской области на окружающую среду

Table 2. Impact of the developed peat deposits of the Gomel region on the environment

Административный район	Площадь			Годовая эмиссия диоксида углерода в атмосферу		Годовой сток веществ	
	в нулевых границах торфяной залежки	выработанной части	воздействия на гидрологический режим торфяного месторождения и прилегающей территории	с выработанной части	с подсущенных зон, прилегающих к выработанным участкам	органических	минеральных
						га	т
Брагинский	44 477	3017	3550	5623	1277	1525	1856
Буда-Кошлевский	7014	2266	2683	6678	1499	1107	1348
Ветковский	5657	1806	2306	5204	824	930	1141
Гомельский	10 617	4661	4406	21658	2068	1772	2159
Добрушский	7521	2569	2418	6629	1263	933	1135
Ельский	12 654	660	885	1202	182	356	432
Житковичский	26 569	4350	4212	3245	844	1558	1896
Жлобинский	19 021	2879	3828	7422	1896	1500	1826
Калинковичский	36 171	4725	5623	14 400	3513	2254	3751
Кормянский	1209	593	869	651	144	327	395
Лельчицкий	48 182	1372	1662	4214	1189	603	737
Лоевский	2696	397	572	1566	514	195	237
Мозырский	3833	248	301	384	139	104	126
Наровлянский	3227	273	478	301	111	150	183
Октябрьский	16 063	1472	2161	6697	1953	740	895
Петриковский	25 607	1306	1780	5084	1340	642	782
Речицкий	16 003	1696	2330	4667	1330	879	1070
Рогачевский	9654	3587	4472	11 558	1979	1849	2252
Светлогорский	26 813	6831	6587	21 858	3999	2676	3266
Хойникский	32 100	5105	5645	8227	1028	2578	3137
Чечерский	3789	711	1086	1086	406	380	461
ИТОГО	358 877	50 524	5 7854	138 354	27 498	23 058	29 085

Суммарное поступление водорастворимых веществ в водоприемники Гомельской области составляет 52 143 т в год, в том числе 23 058 т органических и 29 085 т минеральных веществ (табл. 2). При поступлении в водоприемники эти довольно значительные количества разнообразных веществ изменяют химический состав вод и повышают их евтрофиацию, что в конечном итоге негативно сказывается на функционировании экосистем водоприемников.

По Гомельской области суммарное количество диоксида углерода, выделяемого всеми выработанными торфяными месторождениями, ежегодно составляет 165 852 т, в том числе 138 354 т с выработанных участков и 27 498 т с осущеных, но невыработанных зон торфяных месторождений, прилегающих к выработанным участкам (табл. 2). Кроме этого, диоксид углерода выделяется в больших количествах при торфяных пожарах, однако этот вид воздействия выработанных торфяных месторождений не учитывался, ввиду случайности возникновения на них пожаров.

Ландшафты с выработанными торфяными месторождениями находятся в постоянном развитии. Наиболее динамичными компонентами таких ландшафтов являются глубина остаточного слоя торфа, уровни грунтовых вод и растительный покров.

На выработанных торфяных месторождениях, используемых в сельском и лесном хозяйстве, уменьшение глубины остаточного слоя торфа происходит ежегодно в связи с процессами минерализации органического вещества, а иногда и ветровой эрозии. У торфяных почв, используемых для возделывания многолетних трав, ежегодное уменьшение торфяного слоя составляет 1 см в год, если мощность торфяного слоя более 0,3 м, и 0,7 см в год, если мощность торфяного слоя менее 0,3 м [2, 4]. Постепенно формируется мозаичная структура почвенного покрова на таких полях, что ведет к неравномерности обеспечения растений питательными веществами и водой, а в конечном итоге – к снижению урожая.

В перспективе, в течение ближайших 30–40 лет произойдет перемешивание оставшейся части торфяного слоя с подстилающими грунтами, торфяные почвы полностью утратят торфяной слой и трансформируются в категории органоминеральных и постторфяных минеральных почв. Многие из таких земель будет экономически невыгодно использовать в сельском хозяйстве из-за падения урожая еще до полного разрушения торфяного слоя, поэтому уже в ближайшее время отдельные участки начнут выводиться из-под сельскохозяйственного использования, когда баллы бонитета почв уменьшатся до 23 и ниже. Наиболее вероятно, что такие участки будут переведены в лесные земли с посадкой лесных пород или с повторным заболачиванием территорий. Таким образом, в недалекой перспективе сельскохозяйственные земли на выработанных торфяных месторождениях трансформируются в другие земли по экономическим причинам.

Материалы космической съемки показали, что неиспользуемые площади выработанных торфяных месторождений Гомельской области либо заросли древесно-кустарниковой растительностью, либо избыточно увлажнены. Это означает, что начался процесс постепенной трансформации луговых угодий в лугово-кустарниковые. Постепенное зарастание луговых угодий кустарником связано с многолетними периодами времени, в течение которых не производилось выкашивание или сведение кустарника другими способами. В перспективе эти участки постепенно трансформируются в лесные угодья, если кустарник не будет сведен, а луговые угодья не будут улучшены.

Гидрологический режим таких ландшафтов имеет тенденцию к изменению в сторону подъема уровней грунтовых вод в связи с застанием каналов осушительной сети и их постепенным обмелением вследствие понижения поверхности торфяной почвы. Как правило, это происходит на землях, используемых под пастбища, лесные угодья, а также на заброшенных участках выработанных торфяных месторождений.

Следовательно, ландшафты с выработанными торфяными месторождениями, находящимися в осущенном состоянии, медленно будут преобразовываться в лесные или лесоболотные экосистемы независимо от характера использования этих территорий.

Коренное или поверхностное улучшение сенокосов на выработанных торфяных месторождениях позволит поднять их продуктивность с 7–10 до 32–34 ц/га кормовых единиц, что даст существенный ежегодный экономический эффект, величина которого в каждом хозяйстве будет зависеть от многих причин – обеспеченности основными средствами, себестоимости продукции, земельной ренты и др. Кроме прямого агрономического и экономического эффекта будет иметь место экономия органического вещества почвы за счет увеличения поступлений в неё свежего органического вещества и формирования мощной дернины, ослабляющей влияние внешней среды на торфяной слой, а также экономия азота почвы и удобрений за счет введения бобовых компонентов в состав травосмесей. Все это будет способствовать увеличению продолжительности сельскохозяйственного использования земель на выработанных торфяных месторождениях и получению на них сельскохозяйственной продукции на площади 10 283 га.

Заключение. Выполнена оценка современного состояния и использования всех выработанных торфяных месторождений Гомельской области и научно обоснованы рекомендации по направлениям их использования.

Выявлены сельскохозяйственные земли, расположенные на выработанных торфяных месторождениях, непригодные для возделывания сельскохозяйственных культур, на площади 803 га. Для таких территорий рекомендуется изменить направление использования с сельскохозяйственного на природоохранное с проведением мероприятий по экологической реабилитации.

Ожидаемый экологический эффект по всем административным районам заключается в прекращении ежегодной эмиссии диоксида углерода в атмосферу в количестве 912 т в год и в возобновлении поглощения его из атмосферы в количестве по 651 т в год. На выработанных торфяных месторождениях после экологической реабилитации произойдет возобновление болотных ландшафтов и местообитаний болотного биологического разнообразия, вырастут леса, восстановятся, улучшится микроклимат, снизится пожароопасность территории.

Для повышения продуктивности сенокосов на выработанных торфяных месторождениях рекомендуется выполнить их коренное или поверхностное улучшение на площади 10 283 га.

Реализация рекомендаций будет происходить во времени в связи с разной экономической ситуацией в хозяйствах, которым принадлежат выработанные торфяные месторождения, но правильное их выполнение в полном объеме обеспечит выход на указанные выше эколого-экономические показатели.

Список использованных источников

1. Причины низкой продуктивности сельскохозяйственных земель на выработанных торфяных месторождениях / Н. Н. Бамбалов [и др.] // Земля Беларуси. – 2010. – Вып. 4. – С. 30–37.
2. Бамбалов, Н. Н. Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. – Минск, 2005. – 208 с.
3. Особенности формирования стока и зон влияния осущеных и выработанных участков болот на прилегающие территории / Н. И. Тановицкая [и др.] // Природопользование сб. науч. тр. – 2009. – Вып. 16. – С. 95–100.
4. Оценка воздействия выработанных торфяных месторождений на окружающую среду / Н. Н. Бамбалов [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – 2009. – Вып. 15. – С. 108–115.
5. Крайко, В. М. Состав торфяно-болотных вод и методы их очистки при освоении торфяных месторождений : дис. ... канд. техн. наук / В. М. Крайко. – Минск, 1985.
6. Лиштван, И. И. Мелиорация торфяных месторождений и качество поверхностных вод / И. И. Лиштван, В. М. Крайко // Современные проблемы изучения, использования и охраны природных комплексов Полесья : тез. докл. Междунар. науч. конф. – Минск, 1998. – С. 114.

References

1. Bambalov N. N., Matusevich L. V., Meerovsky A. S. *Prichiny nizkoy produktivnosti selskokhozyaystvennykh zemel na vyrabotannykh torfyanykh mestorozhdeniyakh* [The Reasons of low productivity of agricultural areas on the peat deposits after peat cutting]. *Zemlya Belarusi = The Earth of Belarus*. 2010, Issue 4, pp. 30–37 (in Russian).
2. Bambalov N. N., Rakovich V. A. *Rol bolot v biosfere* [The role of wetlands in the biosphere]. Minsk, 2005, 208 p. (in Russian).
3. Tanovitskaya N. I., Shevtsov N. V., Sokolovsky G. V., Kozulin A. V. *Osobennosti formirovaniya stoka i zon vliyaniya osushennykh i vyrabotannykh uchastkov bolot na prilegayushchiye territorii* [Features of formation of runoff and zones of influence of drained and developed areas of wetlands on adjacent territories]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Prirodopolzovanie"*, 2009, Issue 16, pp. 95–100 (in Russian).
4. Bambalov N. N., Rakovich V. A., Tanovitskaya N. I. i dr. *Osobennosti formirovaniya stoka i zon vliyaniya osushennykh i vyrabotannykh uchastkov bolot na prilegayushchiye territorii* [Assessment of the environmental impact of peat deposits]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Prirodopolzovanie"*, 2009, Issue 15, pp. 108–115 (in Russian).
5. Kraiko V. M. *Sostav torfyano-bolotnykh vod i metody ikh ochistki pri osvoyenii torfyanykh mestorozhdeniy*. Diss. kand. tekhn. nauk [The composition of peat bog waters and methods of their purification during the development of peat deposits. Cand. tech. sci. diss.]. Minsk, 1985 (in Russian).
6. Lishtvan I. I., Kraiko V. M. *Melioratsiya torfyanykh mestorozhdeniy i kachestvo poverkhnostnykh vod* [Reclamation of peat deposits and the quality of surface waters]. *Tez. dokl. Mezhdunar. nauch. konf. "Sovremennyye problemy izucheniya, ispolzovaniya i okhrany prirodykh kompleksov Polesia"* [Proc. report International scientific conf. "Modern problems of studying, using and protecting natural complexes of Polesye"]. Minsk, 1998, p. 114 (in Russian).

Информация об авторах

Ракович Вячеслав Александрович – канд. техн. наук, зав. лаб. биогеохимии и агроэкологии, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: mire4@tut.by

Бамбалов Николай Николаевич – академик, д-р с.-х. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: humico@ecology.basnet.by

Information about the authors

Vyacheslav A. Rakovich – Ph.D. (Technical), Head of Lab. of Biogeochemistry and Agroecology, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: mire4@tut.by

Nikolai N. Bambalov – Academician, D.Sc. (Agricultural), Professor, Chief researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: humico@ecology.basnet.by

АНАЛИЗ УРОЖАЙНОСТИ КАРТОФЕЛЯ В ВИТЕБСКОЙ ОБЛАСТИ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Г. А. Камышенко

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Представлены результаты анализа урожайности картофеля и ее устойчивости в административных районах Витебской области. Исследования выполнены по данным Министерства статистики и анализа Республики Беларусь за 1995–2015 гг. Оценка устойчивости урожайности сельскохозяйственной культуры выполнена посредством применения статистических методов исследования с использованием трехлетних скользящих периодов, что позволило исключить из рассмотрения короткопериодные колебания. Графически представлена динамика урожайности культуры в совокупности с изменениями коэффициента устойчивости, на основе трендовых составляющих определены тенденции развития процесса. Выделены две группы административных районов Витебской области по уровню устойчивости урожайности исследуемой культуры. Большинство районов характеризуется допустимой колеблемостью продуктивности картофеля, семь районов отнесены к группе с неустойчивым картофелеводством. Установлено, что самые неустойчивые относительно возделывания картофеля районы – это, как правило, районы с низким баллом плодородия пахотных земель. Выполнено территориальное сравнение полученных результатов по устойчивости и климатообусловленным недоборам урожайности картофеля, проанализирована рациональность использования выделенных под посевы культуры пахотных земель в изменяющихся погодно-климатических условиях.

Ключевые слова: урожайность картофеля в Витебской области; коэффициент устойчивости; тенденции; погодно-климатические условия.

Для цитирования. Камышенко Г. А. Анализ урожайности картофеля в Витебской области в изменяющихся погодно-климатических условиях // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 98–106.

ANALYSIS OF POTATO YIELD IN THE VITEBSK REGION IN CHANGING WEATHER AND CLIMATIC CONDITIONS

Н. А. Камышенко

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

Abstract. The results of potato yield analysis and its stability in the administrative regions of Vitebsk regions are shown. The research was carried out by the data of the Ministry of Statistics and Analysis of the Republic of Belarus for 1995–2015. The estimation of the yield stability of agriculture was carried out with the use of the statistical methods of research with the use of 3-year slip periods which allowed the exclusion of short-period oscillations from consideration. The dynamics of crop yield in total with stability coefficient change are shown graphically, the tendencies of process development are determined on the base of trend contents. Two groups of the administrative regions of Vitebsk area are highlighted by the level of the yield stability of the studied crop. Main regions are characterized by the allowed variability of potato, seven regions are referred to a group with unstable potato management. It is established that the most unstable regarding potato cultivation regions are, as a rule, those ones with low degree of arable land fertility. The territorial comparison of obtained results on stability and the climate-related deficiencies of potato yield is done, the rationality of the use of arable lands which are marked for crop seeding in changing weather and climatic conditions is analyzed.

Key words: potato productivity in Vitebsk region; stability coefficient; tendencies; weather and climatic conditions.

For citation. Kamyshenka H. A. Analysis of potato productivity in the Vitebsk region in changing weather and climatic conditions. *Prirodopolzovanie*, 2019, no. 1, pp. 98–106.

Введение. Климатообусловленные воздействия на природные и природно-антропогенные системы и связанные с ними социально-экономические последствия – неотъемлемый атрибут современного функционирования климатозависимых отраслей экономики. К наиболее чувствительной к погодно-климатическим изменениям отрасли сельского хозяйства относится растениеводство. Важнейшими задачами аграрного производства являются повышение среднего уровня урожайности возделываемых культур и уменьшение колеблемости урожая, т. е. повышение их устойчивости. В такой сложно управляемой системе, как выращивание сельскохозяйственных культур в полевых условиях,

присутствует стохастичность, обусловленная, в значительной степени, изменчивостью погодно-климатических условий. При участившемся проявлении экстремальных погодных явлений происходит снижение устойчивости функционирования климатозависимых комплексов. В качестве меры устойчивости природно-антропогенной системы выступает показатель изменчивости (вариации) ее компонентов. Проблема устойчивости и изменчивости экосистем – одна из актуальных проблем наук о Земле, активно прорабатываемая в многочисленных публикациях и обсуждаемая на научных конференциях. Отдельные теоретические и практические вопросы по данной проблематике, на которые мы опирались при выполнении исследования, представлены в работах [1–6].

Существует множество определений устойчивости. Наиболее приемлемое применительно к агро-экосистемам понятие «устойчивость» может трактоваться как свойство системы сохранять и поддерживать значения своих параметров и структуры в пространстве и времени, качественно не меняя характер функционирования. Устойчивость временного ряда – это наличие необходимой тенденции изучаемого статистического показателя с минимальным влиянием на него неблагоприятных условий [7, 8]. Устойчивость агросистемы определяется, главным образом, посредством оценки устойчивости продуктивности основных возделываемых в регионе сельскохозяйственных культур, среди которых картофель в Беларусь занимает лидирующие позиции. Однако для Витебской области картофель в настоящее время не является товарной культурой, объем его производства ограничен. Во многом это обусловлено существующими почвенно-климатическими условиями региона, так как урожайность картофеля находится в прямой зависимости от степени переувлажнения почв и их механического состава. По данным почвенных обследований 38,8 % пахотных земель Витебской области избыточно увлажнены [9]. Вегетационный период здесь короче, чем в южных районах республики, поэтому сельское хозяйство региона специализируется на выращивании кормовых и зерновых культур, а также льна.

Посевные площади, выделяемые под посевы картофеля в Витебской области в хозяйствах всех категорий, сократились с 94,3 тыс. га в 1995 г. до 30,8 тыс. га в 2017 г., т. е. более чем в 3 раза. Валовой сбор картофеля за этот же период снизился с 1069 тыс. до 652 тыс. т. Урожайность культуры в области, как правило, уступает по уровню данного показателя в других регионах республики, однако ее средний уровень повысился со 114 ц/га в 1995 г. до 213 ц/га в 2017 г. Выполненные ранее нами и коллегами из Белорусского государственного университета исследования зависимости урожайности картофеля от метеорологических показателей периода вегетации показали, что изменение погодных условий на севере республики благоприятно сказывается на картофелеводстве [10, 11]. Поэтому исследование продуктивности картофеля в Витебской области и ее устойчивости в изменяющихся погодно-климатических условиях является актуальным и своевременным.

Цель исследования – проанализировать урожайность картофеля в административных районах Витебской области на временном интервале 1995–2015 гг. и выполнить оценку ее устойчивости в изменяющихся погодно-климатических условиях.

Метод исследования. В исследовании использованы опубликованные статистические материалы Министерства статистики и анализа Республики Беларусь [12–14]. Обработку временных рядов осуществляли посредством применения статистических и графических методов. Алгоритм получения количественной оценки устойчивости урожайности включает расчет размаха вариации продуктивности культуры, среднего квадратического отклонения, коэффициентов вариации и устойчивости. Размах вариации позволяет в общей форме судить о возможных резервах роста урожайности; среднее квадратическое отклонение определяет меру абсолютных отклонений фактических показателей урожайности от их динамических норм, вычисленных по уравнению тренда; коэффициент вариации отражает нормированную на среднее значение урожайности величину отклонения от нормы в процентах [3, 15].

Коэффициент вариации урожайности, рассчитанный в целом за весь исследуемый период, выражается одним числом, что не позволяет судить о динамике процесса, но дает представление о среднем территориально-распределенном значении колеблемости продуктивности культуры [16, 17]. Более эффективным средством исследования устойчивости продуктивности культуры как динамического процесса является расчет скользящих средних для определенных временных периодов, что позволяет исключить из рассмотрения короткопериодные колебания данных и тем самым более наглядно показать характер зависимости. Поскольку устойчивость – это свойство, противоположное колеблемости, то коэффициент устойчивости вычисляется как разница между 100 % и значением коэффициента вариации. Коэффициенты устойчивости урожайности исследуемой культуры рассчитаны нами по трехлетним скользящим периодам, что позволило по полученным временным рядам представить их динамику на исследованном временном интервале с учетом трендовых составляющих, определяющих тенденции развития процесса. По определению, тенденция – это объективно существующее свойство процесса, которое приближенно отражается и описывается трендом конкретного вида [18].

Результаты исследования. По рассчитанным для каждого административного района Витебской области значениям коэффициента устойчивости урожайности картофеля построены графики, характеризующие динамику показателя (рис. 1). С целью выявления тенденции развития процесса графические материалы по устойчивости дополнены трендовой составляющей линейного типа. Отклонения от тренда рассматриваются как случайные составляющие, обусловленные, как правило, погодно-климатическими явлениями. Выбор агротехнического тренда линейного типа обусловлен тем, что нами исследован короткий временной интервал, охватывающий 21 год и характеризующийся положительной тенденцией развития агротехники и культуры земледелия.

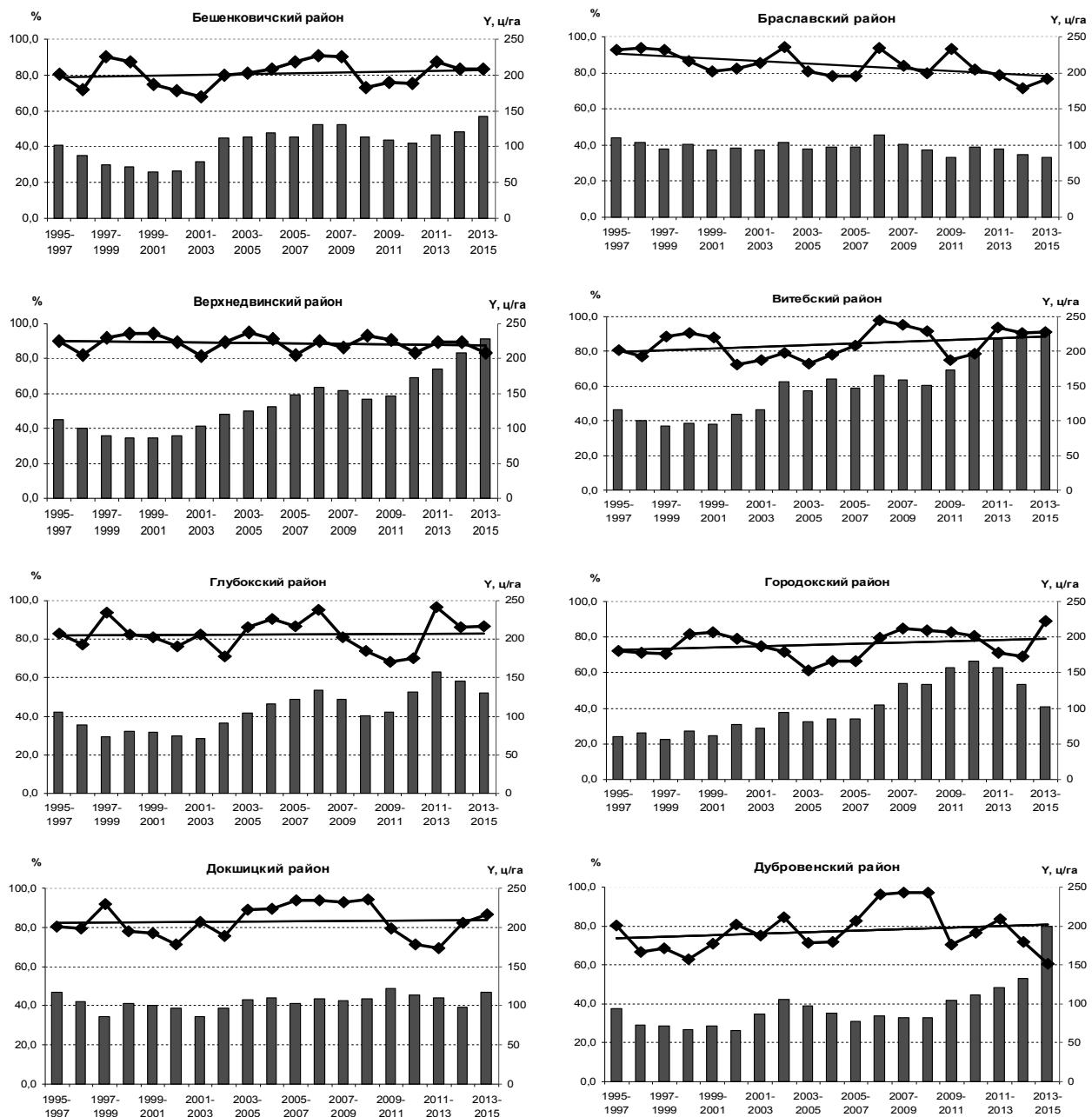


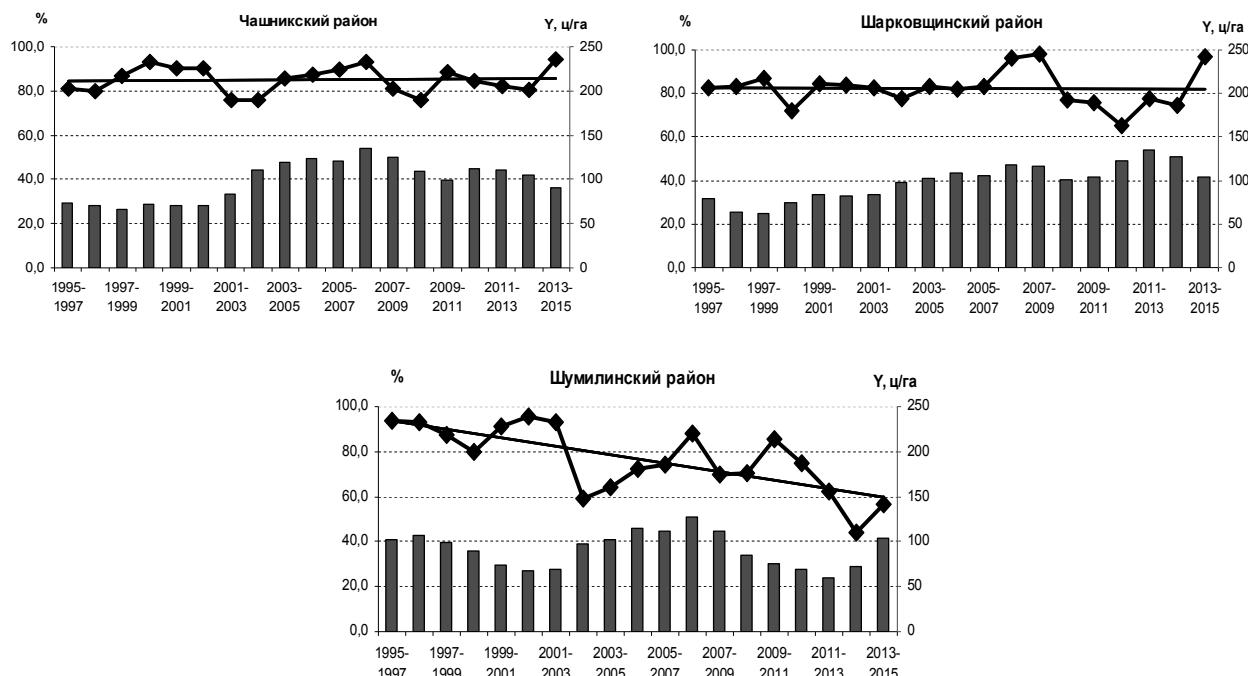
Рис. 1. Урожайность картофеля (ц/га, гистограмма) и ее устойчивость с трендовой составляющей (%), линейный график) в сельскохозяйственных организациях административных районов Витебской области

Fig. 1. Potato yield (c/ha, bar chart) and its stability to trend content (%) line chart) in the agricultural organizations of the administrative regions of Vitebsk region



Продолжение рис. 1

Continuation of fig. 1



Окончание рис. 1

Ending of fig. 1

Кроме того, на рис. 1 относительно вспомогательной оси ординат в виде гистограмм представлены значения урожайности культуры в период с 1995 по 2015 г., также слаженные по трехлетним скользящим периодам. Рассмотрение в совокупности гистограмм по урожайности и графиков устойчивости позволяет выделить как динамично развивающиеся относительно возделывания картофеля районы, так и районы, в которых трендовая составляющая устойчивости не сопряжена с динамикой урожайности.

Графики продуктивности культуры и ее устойчивости характеризуются волнобразной структурой. Нестабильная ситуация обусловлена не столько частыми скачками продуктивности, сколько резкими падениями данного показателя в отдельные годы. При этом следует отметить, что использование в расчетах скользящих временных периодов не только позволяет сгладить колебания данных и выявить тенденции развития процесса, но и в определенной степени завышает значения коэффициента устойчивости.

На подавляющем большинстве графиков урожайности картофеля можно выделить два периода – продолжительностью 9 лет (до 2004 г.) с более низким уровнем продуктивности культуры и последующие 12 лет (2004–2015 гг.) с наметившимся ростом урожайности. Эта же ситуация характеризует и область в целом, что отражено на рис. 2.

Для первого выделенного периода (1995–2003 гг.) урожайность в среднем по области составила 91 ц/га, для последующего временного интервала – 165 ц/га. Эта положительная динамика согласуется с выполненным ранее исследованием по оценке адаптации посевных площадей, выделенных под картофель в Витебской области, к изменяющимся агроклиматическим условиям [19].

Среди наиболее высокоурожайных административных районов относительно возделывания картофеля выделяются четыре: Толочинский (со средней продуктивностью в исследуемый период 214 ц/га), Полоцкий (157 ц/га), Витебский (153 ц/га) и Верхнедвинский (141 ц/га). При этом в указанных районах средняя урожайность в период с 2004 по 2015 г. увеличилась в 2 раза и более по сравнению с предыдущим периодом. Установлено, что только в сельскохозяйственных организациях Витебского района отмечается рост устойчивости при одновременном росте продуктивности культуры, в остальных выделенных высокопродуктивных районах график трендовой составляющей близок к const.

К самым низкоурожайным районам Витебской области в исследуемый период можно отнести Браславский, Лиозненский, Россонский, Ушачский и Шумилинский районы со средней урожайностью картофеля ниже 100 ц/га. Эти же районы отличаются ярко выраженной отрицательной динамикой устойчивости урожайности картофеля, что свидетельствует о наличии проблемных вопросов в картофелеводстве указанных административных районов.

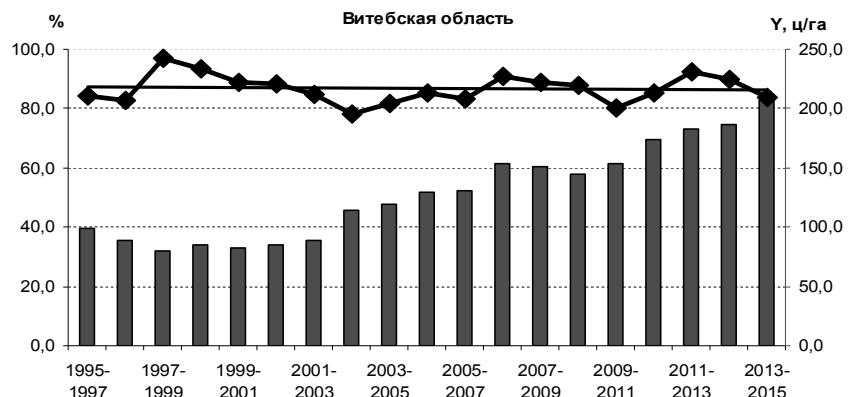


Рис. 2. Урожайность картофеля (ц/га, гистограмма) и ее устойчивость (%), линейный график с трендовой составляющей в Витебской области

Fig. 2. Potato yield (c/ha, bar chart) and its stability (%) with trend content in Vitebsk region

Средняя урожайность культуры в целом по области растет, что в определенной степени достигнуто за счет постепенного снижения размеров выделяемых под посевы картофеля площадей в сельскохозяйственных организациях ряда районов с неустойчивой или низкой урожайностью картофеля. Так, в период с 2000 по 2015 г. посевные площади под данную культуру в Докшицком районе уменьшились с 600 до 26 га, в Дубровенском районе – с 212 до 26, в Россонском районе – со 168 до 20 га, в Ушачском районе в 2016 г. в сельскохозяйственных организациях картофель не выращивался. При явном росте средних значений урожайности тренд по устойчивости отражает стабильную ситуацию в картофелеводстве области, что подтверждает установленный ранее факт, что на севере республики (в Витебской области) наблюдается уменьшение отрицательного влияния изменяющихся погодных условий на развитие картофелеводства [11].

Согласно статистическим расчетам, выполненным в 2018 г. в Центре климатических исследований Института природопользования НАН Беларуси, в Витебской области в последние годы (2011–2017 гг.) активно используют мелиорированные земли для возделывания картофеля – на них приходится 47,1 % посевных площадей, выделенных под данную культуру. На осушенных землях сельскохозяйственных организаций урожайность культуры в указанные годы превысила среднее значение по области на 10 ц/га, что сказалось на увеличении валового сбора картофеля на 19,3 тыс. т (46,1 %). Таким образом, использование в картофелеводстве Витебской области мелиорированных почв явились дополнительным фактором, положительно повлиявшим на состояние отрасли.

Наблюдаемые погодно-климатические изменения, сопровождающиеся участившимися опасными природными явлениями, приводят к потерям урожайности картофеля. Картосхемы средних значений коэффициентов устойчивости урожайности культуры и процентной составляющей недоборов продуктивности по административным районам в период с 1995 по 2015 г. представлены на рис. 3.

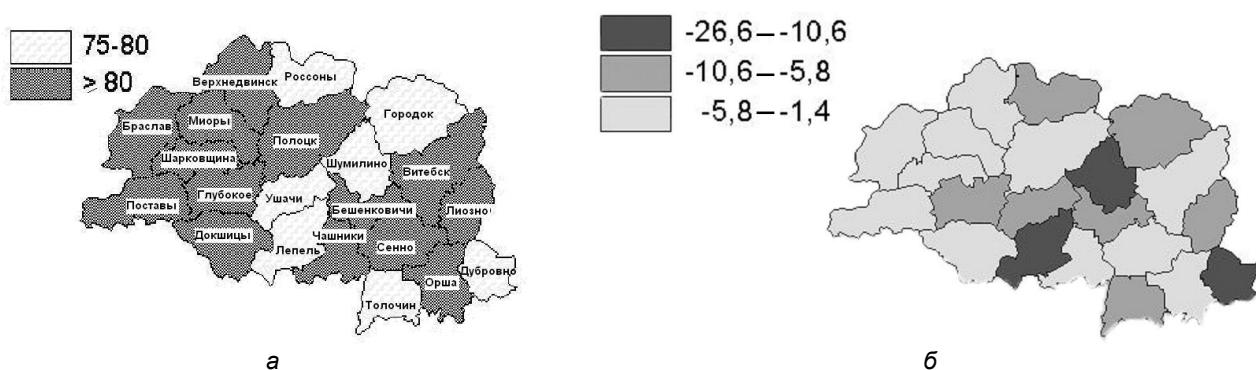


Рис. 3. Картосхемы, характеризующие урожайность картофеля в Витебской области (%): а – устойчивость; б – климатоусловленные недоборы

Fig. 3. Schematic maps, which characterize potato yield in Vitebsk region (%): a – stability; б – climate-induced deficiencies

При построении картосхемы устойчивости использована следующая градация значений показателя устойчивости в процентах: $k \geq 90,0$ – норматив устойчивости; $90,0 > k \geq 80,0$ – допустимая колеблемость; при $80,0 > k \geq 60,0$ – неустойчивое развитие явления или процесса; при $60,0 > k \geq 40,0$ – ситуация крайне неустойчивая; при $k < 40,0$ – ситуация недопустимая [4].

Согласно средним значениям по годам, Витебская область в целом характеризуется допустимым уровнем устойчивости. На картосхеме показано, что большинство районов относится к группе с допустимой колеблемостью урожайности картофеля. В семи административных районах коэффициент устойчивости продуктивности культуры находится в интервале от 75 до 80 %, что, согласно представленной выше градации, свидетельствует о неустойчивом состоянии картофелеводства в исследуемый период на выделенных территориях. Низкие значения устойчивости урожайности не обязательно связаны с низким уровнем урожайности в абсолютных величинах. Так, в Толочинском районе выявлена сравнительно невысокая устойчивость урожайности картофеля, при этом по абсолютным значениям продуктивности культуры этот район среди лидеров, что позволяет сделать вывод о существовании реальной возможности получения еще более высоких урожаев при соблюдении требований агротехнологий, направленных на повышение устойчивости картофелеводства.

Пахотные земли выделенных выше административных районов с неустойчивой урожайностью картофеля (рис. 3 а), за исключением Толочинского и Дубровенского районов, характеризуются низким баллом плодородия.

Картосхемы устойчивости и климатообусловленных недоборов урожайности картофеля, возделываемого в Витебской области, согласуются между собой обратной корреляционной зависимостью. Чем выше климатообусловленные недоборы, тем ниже устойчивость урожайности культуры. В Витебской области климатообусловленные недоборы продуктивности картофеля присутствуют повсеместно, но самые значительные, превышающие 12 % при среднем по области отклонении от тренда, равном 7 %, выявлены в Дубровенском, Лепельском и Шумилинском районах [21]. Эти же районы отличаются самой низкой устойчивостью урожайности картофеля. В большинстве же районов отклонения урожайности от агротехнического тренда не превысили среднее значение по области.

Основными причинами недоборов урожайности картофеля в период с 1995 по 2015 г. явились засухи, приведшие к недостатку почвенной влаги. Именно в годы, отличающиеся на территории Беларусь значительным числом дней с засухой (1996, 1999, 2002, 2015 г.), произошли наиболее значимые недоборы урожайности картофеля. Засуха 2010 г. проявилась в недоборах картофеля только в северо-восточной части территории республики. Согласно выполненному исследованию [20], в период потепления климата в Витебской области произошел существенный рост числа засух, причем максимум засушливости пришелся на июль–август, что оказало влияние на устойчивость продуктивности картофеля.

Заключение. В результате выполненных статистических расчетов и анализа построенных графиков, характеризующих устойчивость продуктивности картофеля, установлено, что значения коэффициента устойчивости на временном интервале 1995–2015 гг. для большинства районов Витебской области соответствуют допустимому уровню, что в очередной раз свидетельствует о благоприятности для картофелеводства на севере республики происходящих погодно-климатических изменений. Выделены две группы административных районов по уровню устойчивости урожайности исследуемой культуры. Установлено, что самые неустойчивые относительно возделывания картофеля районы – это, как правило, районы с низким баллом плодородия пахотных земель. Выполнено территориальное сравнение и подтверждена обратная зависимость климатообусловленных недоборов и устойчивости урожайности картофеля.

Список использованных источников

1. Механизмы устойчивости геосистем / А. Д. Арманд [и др.]. – М. : Наука, 1992. – 207 с.
2. Афанасьев, В. Н. Статистическое обеспечение проблемы устойчивости сельскохозяйственного производства / В. Н. Афанасьев. – М. : Финансы и статистика, 1996. – 318 с.
3. Волчок, В. Статистический анализ устойчивости сельскохозяйственного производства / В. Волчок // Экономический вестник (ЭКОВЕСТ). – № 4. – 2001. – С. 627–642.
4. Суслов, С. А. Методика региональной оценки экономической устойчивости сельскохозяйственного производства / С. А. Суслов, И. В. Громов // Вестник Нижегородского гос. инженерно-экономического института. Серия экономич. наук. – Нижний Новгород, 2012. – № 5. – С. 100–114.
5. Четвериков, Н. С. Колебание урожаев как фактор, влияющий на устойчивость сельского хозяйства в России / Н. С. Четвериков // Статистические и стохастические исследования. – М., 1963. – С. 57–103.
6. Юзбашев, М. М. Статистический анализ тенденций и колеблемости / М. М. Юзбашев, А. И. Манелля. – М., 1983. – 208 с.

7. Докучаев, М. Д. Количественная оценка рисков при статистическом прогнозировании временных рядов [Электронный ресурс] / М. Д. Докучаев, А. С. Шубин // Студенческий научный форум : материалы VIII Междунар. студ. электр. науч. конф. Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2017/2467/30650>. – Дата доступа: 15.06.2018.
8. Титова, В. И. Агрэкосистемы: проблемы функционирования и сохранения устойчивости (теория и практика агронома эколога) : учеб. пособие / В. И. Титова, М. В. Дабахов, Е. В. Дабахова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Н. Новгород : НГСХА, 2002. – 205 с.
9. Оптимизация землепользования в сельскохозяйственных предприятиях Витебской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studbooks.net/1179646/agropromyshlennost/otsenka_sostoyaniya_zemelnyh_resursov_vitebskoy Oblasti. – Дата доступа: 17.10.2018.
10. Давыденко, О. В. Зависимость урожайности картофеля и сахарной свеклы от метеорологических показателей периода вегетации / О. В. Давыденко, П. С. Лопух // Весці БДПУ. Сер. 3. – 2010. – № 3. – С. 56–62.
11. Камышенко, Г. А. Климатическая составляющая в изменении урожайности картофеля / Г. А. Камышенко // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 39–46.
12. Валовой сбор и урожайность сельскохозяйственных культур в Витебской области за 2014 год (стат. бюлл.). – Витебск, 2015. – 73 с.
13. Регионы Республики Беларусь. Социально-экономические показатели 2013. (стат. сб.). – Минск, 2013. – Т. 1. – 739 с.
14. Сельское хозяйство Республики Беларусь (стат. сб.). – Минск : Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2006. – 254 с.
15. Камышенко, Г. А. Анализ устойчивости урожайности сельскохозяйственных культур Беларуси (на примере озимой пшеницы и картофеля) / Г. А. Камышенко // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2010. – Вып. 18. – С. 97–102.
16. Бровка, Ю. А. Предложения по оптимизации регионального распределения посевов сельскохозяйственных культур / Ю. А. Бровка // Природопользование: Сб. науч. тр. – Минск, 2008. – Вып. 14. – С. 85–89.
17. Пасов, В. М. Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур / В. М. Пасов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1986. – 151 с.
18. Афанасьев, В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 228 с.
19. Камышенко, Г. А. Оценка адаптации посевных площадей к изменяющимся агроклиматическим условиям / Г. А. Камышенко // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2015. – Вып. 27. – С. 68–76.
20. Логинов, В. Ф. Экстремальные климатические явления: пространственно-временные закономерности их изменений и предпосылки прогнозирования / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2012. – 132 с.
21. Камышенко, Г. А. Климатообусловленные недоборы урожайности картофеля / Г. А. Камышенко // Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 25–27 сент. 2017 г. – С. 259–263.

References

1. Armand A. D. *Mehanizmy ustojchivosti geosistem* [Mechanisms of geosystems stability]. Moscow, 1992, 207 p. (in Russian).
2. Afanas'ev V. N. *Statisticheskoe obespechenie problemy ustojchivosti sel'skokhozjajstvennogo proizvodstva* [Statistical support for the sustainability of agricultural production]. Moscow, 1996, 318 p. (in Russian).
3. Volchok V. *Statisticheskij analiz ustojchivosti sel'skokhozjajstvennogo proizvodstva* [Statistical analysis of the sustainability of agricultural production]. *Jekonomicheskij vestnik (JeKOVEST) = Economic Bulletin (ECOVEST)*, 2001, no. 4, pp. 627–642 (in Russian).
4. Suslov S. A. *Metodika regional'noj ocenki jekonomiceskoy ustojchivosti sel'skokhozjajstvennogo proizvodstva* [Methods of regional assessment of economic sustainability of agricultural production]. *Vestnik Nizhegorodskogo gos. inzhenerno-jekonomiceskogo instituta. Serija jekonomich. nauk = Bulletin of the Nizhny Novgorod State. Engineering Economic Institute. Economic series sciences*. Nizhny Novgorod, 2012, no. 5, pp. 100–114 (in Russian).
5. Chetverikov N. S. *Kolebanie urozhaev kak faktor, vlijajushhij na ustojchivost' sel'skogo hozjajstva v Rossii* [Oscillations of yields as a factor influencing the sustainability of agriculture in Russia]. *Statisticheskie i stohasticheskie issledovaniya = Statistical and stochastic studies*. Moscow, 1963, pp. 57–103 (in Russian).
6. Juzbashev M. M. *Statisticheskij analiz tendencij i koleblemosti* [Statistical analysis of trends and variability]. Moscow, 1983, 208 p. (in Russian).
7. Dokuchaev M. D, Shubin A. S. Quantitative risk assessment in statistical forecasting of time series [Electronic recourse]. Proc. 8th Int. Student e-Scientific Conf. "Student Scientific Forum", 2017. Mode of access: <http://www.scienceforum.ru/2017/2467/30650>. Date of access: June, 15, 2018 (in Russian).
8. Titova V. I., Dabahov M. V., Dabahova E. V. *Agroekosistemy: problemy funkcionirovaniya i sohraneniya ustojchivosti (teoriya i praktika agronomika jekologa)* [Agroecosystems: problems of functioning and preservation of sustainability (theory and practice of agronomist ecologist)]. Nizhny Novgorod, 2002, 205 p. (in Russian).
9. Optimization of land use in agricultural enterprises of the Vitebsk region, 2018 [Electronic recourse]. Mode of access: https://studbooks.net/1179646/agropromyshlennost/otsenka_sostoyaniya_zemelnyh_resursov_vitebskoy Oblasti. Date of access: October, 17, 2018 (in Russian).

10. Davydenko O. V., Lopuh P. S. *Zavisimost' urozhajnosti kartofelja i saharnoj svekly ot meteorolo-gicheskikh pokazatelej perioda vegetacii* [The dependence of the yield of potatoes and sugar beet from meteorological indicators of the growing season]. *Vesci BDPU*, 2010, Ser. 3, no. 3, pp. 56–62 (in Russian).
11. Kamyshenka H. A. *Klimaticheskaja sostavljajushchaja v izmenenii urozhajnosti kartofelja* [Climate component in the change of potato yield]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Prirodopolzovanie"*, Minsk, 2014, vol. 25, pp. 39–46 (in Russian).
12. *Valovoj sbor i urozhajnost' sel'skohozjastvennyh kul'tur po kategorijam hozjajstv v Vitebskoj oblasti za 2014 god (stat. bjulleten')* [Gross yield and yield of crops in the Vitebsk region for 2014 (stat. bulletin)]. Vitebsk, 2015, 73 p. (in Russian).
13. *Regiony Respubliki Belarus'. Social'no-ekonomicheskie pokazateli 2013 (stat. bjulleten')* [Regions of the Republic of Belarus. Socio-economic indicators 2013 (stat. bulletin)]. Minsk, 2013, vol. 1, 739 p. (in Russian).
14. *Sel'skoe hozjajstvo Respubliki Belarus' (stat. bjulleten')* [Agriculture of the Republic of Belarus (stat. bulletin)]. Minsk, 2006, 254 p. (in Russian).
15. Kamyshenka H. A. *Analiz ustojchivosti urozhajnosti sel'skohozjastvennyh kul'tur Belarusi (na primere ozimoj pshenicy i kartofelja)* [Analysis of the sustainability of crop yields of crops of Belarus (for example, winter wheat and potatoes)]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov=Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Prirodopolzovanie"*, Minsk, 2010, vol. 18, pp. 97–102 (in Russian).
16. Brovka Ju. A. *Predlozenija po optimizacii regional'nogo raspredelenija posevov sel'skohozjajst-vennyh kul'tur* [Suggestions for optimizing the regional distribution of crops]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Prirodopolzovanie"*, Minsk, 2008, vol. 14, pp. 85–89 (in Russian).
17. Pasov V. M. *Izmenchivost' urozhajaev i ocenka ozhidaemoj produktivnosti zernovyh kul'tur* [Variability of yields and estimation of the expected productivity of grain crops]. Leningrad, 1986, 151 p. (in Russian).
18. Afanas'ev V. N., Juzbashev M. M. *Analiz vremennyh rjadow i prognozirovaniye* [Time Series Analysis and Forecasting]. Moscow, 2001, 228 p. (in Russian).
19. Kamyshenka H. A. *Ocenka adaptacii posevnyh ploshhadej k izmenajushhimsja agroklimaticeskim uslovijam* [Assessment of adaptation of acreage to changing agro-climatic conditions]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Prirodopolzovanie"*, Minsk, 2015, vol. 27, pp. 68–76 (in Russian).
20. Loginov V. F., Brovka Ju. A. *Jekstremal'nye klimaticheskie javlenija: prostranstvenno-vremennye za-konomernosti ih izmenenij i predposylki prognozirovaniya* [Extreme climatic phenomena: spatio-temporal patterns of their changes and prerequisites for forecasting]. Minsk, 2012, 132 p. (in Russian).
21. Kamyshenka H. A. *Klimatoobuslovlenyye nedobory urozhajnosti kartofelja* [Climate-related deficiencies in potato yield]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Aktual'nye problemy nauk o Zemle: ispol'zovanie prirodnyh resursov i sohranenie okruzhajushhej sredy"* [Materials of the international scientific-practical conference Actual problems of earth sciences: the use of natural resources and the preservation of the environment]. Brest, September, 25–27, 2017, pp. 259–263 (in Russian).

Информация об авторе

Камышенка Галина Анатольевна – канд. техн. наук, ученый секретарь, Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: kamyshenka@tut.by

Information about the author

Halina A. Kamyshenka – Ph.D (Technical), Scientific Secretary, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: kamyshenka@tut.by

ИЗМЕНЧИВОСТЬ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛОДОВ ГОЛУБИКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭДАФИЧЕСКОГО И МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

**Ж. А. Рупасова¹, А. П. Яковлев¹, В. Н. Решетников¹, А. А. Ярошук¹,
Э. И. Коломиец², З. М. Алещенкова², И. И. Лиштван³, Т. М. Карбанович⁴**

¹*Центральный ботанический сад НАН Беларусь, Минск, Беларусь*

²*Институт микробиологии НАН Беларусь, Минск, Беларусь*

³*Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь*

⁴*Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Минск, Беларусь*

Аннотация. Приведены результаты сравнительного исследования влияния полного минерального ($N_{16}P_{16}K_{16}$) и микробных удобрений МаКлор, АгроМик и Бактопин на вариабельность 14 количественных характеристик биохимического состава плодов *V. angustifolium*, а также межвидовых гибридов (*V. angustifolium* × *V. corymbosum*) *Northcountry* и *Northblue* в рамках двухлетнего полевого эксперимента на рекультивируемом участке вышедшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения верхового типа на севере Беларуси.

Выявлена наименьшая зависимость от эдафического фактора для содержания в плодах сухих веществ, аскорбиновой кислоты и растворимых сахаров, наибольшая – для показателя сахарокислотного индекса, содержания органических кислот и собственно антоцианов. Наиболее высокой устойчивостью биохимического состава плодов голубики к уровню минерального питания характеризовался сорт *Northblue*, наиболее низкой – *V. angustifolium* при промежуточном положении сорта *Northcountry*. Степень зависимости биохимического состава плодов от метеорологических факторов в значительной мере определялась видом удобрений, генотипом растений и химической природой органических соединений. Интегральный уровень питательной и витаминной ценности плодов *V. angustifolium* характеризовался в 1,3 раза большей устойчивостью к метеорологическим факторам по сравнению с межвидовыми гибридами, особенно с сортом *Northblue*, при существенном влиянии на степень данной устойчивости испытываемых агроприемов. Показано, что внесение $N_{16}P_{16}K_{16}$, жидкого препарата АгроМик и особенно 50%-ного раствора удобрения МаКлор способствовало ослаблению зависимости биохимического состава плодов *V. angustifolium* от погодных условий вегетационного периода, по сравнению с контролем, тогда как внесение 10%-ного раствора препарата МаКлор в сочетании с сухим микрозным удобрением АМГ либо препарата Бактопин с АМГ, напротив, усиливали ее в 1,6 раза. Наименьшая подобная зависимость у сорта *Northcountry* выявлена при совместном использовании препаратов Бактопин и АМГ, тогда как наибольшая (с превышением в 2,3 раза) – при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$. У сорта *Northblue* показано усиление в 1,3–1,7 раза зависимости биохимического состава плодов от метеорологических факторов на фоне всех испытываемых агроприемов, особенно с использованием удобрения МаКлор в 50%-ной концентрации. Выявлены генотипические различия степени зависимости от гидротермического режима сезона показателей биохимического состава плодов голубики.

Установлено, что у *V. angustifolium* влияние метеорологических факторов на сахарокислотный индекс плодов и содержание в них аскорбиновой и гидроксикоричных кислот, пектиновых и дубильных веществ, катехинов и флавонолов в 1,1–4,7 раза превосходило таковое эдафического фактора, оказывавшего в 1,5–2,1 раза более сильное воздействие на накопление сухих веществ, титруемых кислот, обоих компонентов антоцианового комплекса и общее количество Р-витаминов при отсутствии различий в этом плане для содержания растворимых сахаров. У межвидовых гибридов голубики выявлено выраженное сходство в приоритетном значении каждого из обозначенных абиотических факторов на биохимический состав плодов, состоявшее в 1,2–4,1 раза более выраженной зависимости содержания в них сухих и пектиновых веществ, растворимых сахаров, флавонолов, компонентов антоцианового комплекса и общего количества Р-витаминов от гидротермического режима сезона, нежели от состояния минерального фона, влияние которого в 1,1 раза было более значительным лишь для содержания титруемых кислот, катехинов и показателя сахарокислотного индекса.

Ключевые слова: выработанный торфяник; голубика узколистная и высокорослая; удобрения микробные и минеральные; плоды; биохимический состав; вариабельность; устойчивость; эдафический фактор; метеорологические факторы.

Для цитирования. Рупасова Ж. А., Яковлев А. П., Решетников В. Н., Ярошук А. А., Коломиец Э. И., Алещенкова З. М., Лиштван И. И., Карбанович Т. М. Изменчивость количественных характеристик биохимического состава плодов голубики в зависимости от эдафического и метеорологических факторов // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 107–120.

VARIABILITY OF QUANTITATIVE CHARACTERISTICS OF THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF FRUITS OF A BLUEBERRY DEPENDING ON EDAPHIC AND METEOROLOGICAL FACTORS

Zh. A. Rupasova¹, A. P. Yakovlev¹, V. N. Reshetnikov¹, A. A. Yaroshuk¹,
E. I. Kolomiets², Z. M. Aleshchenkova², I. I. Lishtvan³, T. M. Karbanovich⁴

¹*Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

²*Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

³*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

⁴*Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, Minsk, Belarus*

Abstract. The results of relative research of influence at fertilizer application NPK-compound ($N_{16}P_{16}K_{16}$) and of some microbial specimen of MaKlor, AgroMik and Baktopin on variability of 14 quantity indicators of a biochemical compound lowbush blueberry and half-highbush blueberry (cultivars *Northcountry* and *Northblue*) within the limits of a biennial field experiment recultivated cutover peatlands in the north of Belarus in article are resulted.

The least dependence for the content in fruits of dry matters, ascorbic acid and soluble sugars from an edaphic factor is revealed, the greatest – for an indicator sugar and acid index, an organic acidity and actually anthocyanins. The highest resistance of a biochemical compound of fruits of a blueberry to mineral nutrition level characterised cultivar *Northblue*, by the lowest – *V. angustifolium* at mediate position of cultivar *Northcountry*. Degree of dependence of a biochemical compound of fruits from meteorological factors was appreciably defined by a form of fertilizings, a genotype of plants and the chemical nature of organic compounds. Integrated level of nutrient and vitaminic value *V. angustifolium* was characterised of the large resistance to meteorological factors (in 1,3 times), in comparison with half-highbush blueberry, especially with cultivar *Northblue*. It is shown that entering $N_{16}P_{16}K_{16}$, a liquid preparation of AgroMik and especially 50 % solutions of fertilising of MaKlor promoted weakening of dependence of a biochemical compound *V. angustifolium* from a vegetation period weather environment, in comparison with control. And entering 10 % solutions of a preparation of MaKlor in a combination with dry mycorrhizal fertilising AMГ or a preparation Baktopin with AMГ, on the contrary, enhanced it in 1,6 times. The least similar dependence at cultivar *Northcountry* is revealed at sharing of preparations Baktopin and AMГ, whereas the greatest (with excess in 2,3 times) – at entering $N_{16}P_{16}K_{16}$. At cultivar *Northblue* intensifying in 1,3–1,7 times of dependence of a biochemical compound of fruits from meteorological factors against all tested field practices, especially with use of fertilising of MaKlor in 50 %' concentration is shown. Genotypic distinctions of degree of dependence of indicators of a biochemical compound of fruits of a blueberry from a hydrothermal regime of a season are revealed.

It is established that influence of meteorological factors on sugar and acid index and the content in them ascorbic and hydroxycinnamic acids, pectic and tannins, catechols and flavonols at *V. angustifolium* of fruits in 1,1–4,7 times surpassed edaphic factor influence. The edaphic factor had stronger influence on accumulation in fruits of an lowbush blueberry of dry matters, titrable acids, both ingredients anthocyanin complex and total of P-vitamins in 1,5–2,1 times. For the content of soluble sugars in fruits of distinctions it is not revealed. For fruits of a half-highbush blueberry more expressed dependence of the content in them of dry and pectic materials, soluble sugars, flavonols, ingredients anthocyanin complex and total of P-vitamins from a hydrothermal regime of a season, rather than from a state of a mineral background in 1,2-4,1 times is revealed.

Key words: cutover peatland; lowbush blueberry and half-highbush blueberry; fertilizings microbal and mineral; fruits; a biochemical compound; variability; resistance; a soil factor; meteorological factors.

For citation: Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Reshetnikov V. N., Yaroshuk A. A., Kolomiets E. I., Aleshchenkova Z. M., Lishtvan I. I., Karbanovich T. M. Variability of quantitative characteristics of the biochemical composition of fruits of a blueberry depending on edaphic and meteorological factors. *Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 107–120.

Введение. Важнейшим элементом технологии возделывания голубики на рекультивируемых площадях выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений является оптимизация режима минерального питания, направленная на максимально полную реализацию потенциала развития данной культуры [1]. При этом наиболее перспективным представляется использование в фиторекультивационных целях микробно-растительных ассоциаций, способствующих активизации микробиологических и биохимических процессов в малоплодородном и сильноокислом остаточном слое торфяной залежи [2]. Тем самым будет обеспечено не только введение микробных удобрений в органическое земледелие, но и получение экологически чистой, экспортноориентированной высоковитаминной ягодной продукции. Это особенно актуально в связи с принятием в ноябре 2018 г. в Республике Беларусь Закона об органическом земледелии, подписанном Главой государства А. Г. Лукашенко и существенно ужесточающем требования к качеству растениеводческой продукции, при производстве которой запрещено использование любых химических средств, в том числе минеральных удобрений.

В настоящее время в Институте микробиологии НАН Беларуси уже создан ряд высокоэффективных микробных удобрений на основе ассоциативных азотфиксирующих и фосфатомобилизующих бактерий, положительно влияющих на развитие сельскохозяйственных культур [3]. Для определения их эффективности при выращивании узколистной и высокорослой голубики на рекультивируемом участке выбывшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения верхового типа в Докшицком р-не Витебской обл., в 2017–2018 гг. в условиях опытной культуры было проведено сравнительное исследование влияния полного минерального и трех видов отечественных микробных удобрений – МаКлор, АгроМик и Бактопин, при дифференцированном и совместном применении на биохимический состав плодов опытных растений, показавшее его существенную зависимость от состояния агрохимического фона и гидротермического режима сезона, в значительной мере определяющих вкусовые свойства ягодной продукции [4]. Исследование ответной реакции интродуцентов на воздействие эдафического и метеорологических факторов представляется нам весьма актуальным, поскольку содержание в торфяном субстрате и доступность для культивируемых растений макро- и микроэлементов на фоне внесения удобрений при крайне неустойчивом характере погодных условий в период вегетации,ственный Белорусскому региону, оказывает существенное влияние на темпы накопления в плодах тех или иных соединений [5] и тем самым оказывает корригирующее действие на их питательную и витаминную ценность.

Цель исследований заключалась в выявлении компонентов биохимического состава плодов голубики с наиболее высокой устойчивостью к воздействию эдафического и метеорологических факторов на рекультивируемом участке выбывшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения на фоне внесения минеральных и микробных удобрений и в определении на этой основе приоритетного влияния каждого из обозначенных факторов на интегральный уровень их питательной и витаминной ценности.

Методы исследований

В качестве объектов исследований использовали растения голубики узколистной *V. angustifolium* и сортов *Northcountry* и *Northblue*, являющихся межвидовыми гибридами (*V. angustifolium* × *V. corymbosum*). Полевые опыты были заложены на торфяном месторождении «Журавлевское» на участке сильнокислого ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 2,8$), малоплодородного (содержание P_2O_5 и K_2O не более 12–15 и 11–21 мг/кг соответственно), полностью лишенного растительности остаточного слоя донного торфа средней степени разложения, представленного пушицео-сфагновой ассоциацией.

Схема опыта включала 6 вариантов в трехкратной повторности и предусматривала двукратное за сезон (в мае и июне) луночное внесение удобрений: 1 – контроль, без внесения удобрений; 2 – внесение 10 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлор (0,5 л/растение) в сочетании с сухим микоризным удобрением АМГ из расчета 20 г на 100 л рабочего раствора, или 0,1 г на 1 растение; 3 – внесение 50 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлор (0,5 л/растение); 4 – внесение 2 %-ного рабочего раствора жидкого препарата АгроМик (0,5 л/растение); 5 – внесение 2 %-ного рабочего раствора жидкого препарата Бактопин (0,5 л/растение) в сочетании с сухим микоризным удобрением АМГ из расчета 20 г на 100 л рабочего раствора, или 0,1 г на 1 растение; 6 – внесение в почву NPK 16 : 16 : 16 кг/га д. в., или 5 г на 1 растение. В каждом варианте опыта было высажено по 18 растений голубики.

В период плодоношения опытных растений в усредненных пробах ягодной продукции определяли содержание: сухих веществ; аскорбиновой кислоты; свободных органических (титруемых) и гидроксикоричных кислот (в пересчете на хлорогеновую); растворимых сахаров; пектиновых и дубильных веществ, собственно антоцианов, лейкоантоцианов, катехинов и флавонолов (в пересчете на рутин) с использованием общепринятых методов получения аналитической информации [6–13]. Все определения выполнены в десятикратной биологической и трехкратной аналитической повторностях. Данные статистически обработаны с использованием программы Excel.

Результаты исследований и их обсуждение

Годы исследований характеризовались выраженными контрастами погодных условий вегетационного периода. Так, в период вегетации растений в 2017 г., при близких к многолетней норме среднемесячных значениях температуры воздуха, ее существенные подекадные колебания на протяжении сезона оказывали определенное негативное влияние на формирование плодов голубики. Это проявлялось в смещении сроков их созревания на более позднее время и снижении урожайности, что позволяет охарактеризовать данный сезон как не совсем благоприятный для полной реализации биологического потенциала опытных растений. Вегетационный период 2018 г., в отличие от предыдущего сезона, на всем протяжении характеризовался аномально жаркой погодой с превышением на 18–76% среднемноголетних температурных показателей при существенном дефиците атмосферных осадков, и лишь в июле их количество на 28 % превышало многолетнюю норму.

Несмотря на сравнительно непродолжительный период наблюдений, ограниченный всего двумя сезонами, были выявлены существенные межвариантные различия степени зависимости 14 количественных характеристик биохимического состава плодов голубики от воздействия эдафического фактора, подтверждаемые несопоставимостью ширины диапазонов их изменений в рамках полевого эксперимента (табл. 1).

Таблица 1. Диапазоны варьирования количественных характеристик биохимического состава плодов голубики в вариантах полевого опыта в двухлетнем цикле наблюдений (в сухом веществе)**Table 1. The ranges of variation of the quantitative characteristics of the biochemical composition of blueberry fruits in the field test options in a two-year observation cycle (in dry matter)**

Показатель	Вариант полевого опыта		
	<i>V. angustifolium</i>		
	1-й	2-й	3-й
Сухие вещества, %	15,5–16,4	17,5–18,7	16,0–16,2
Свободные органические кислоты, %	5,26–7,56	3,25–4,51	3,48–4,27
Аскорбиновая кислота, мг%	323,9–398,7	294,3–343,5	324,3–328,1
Гидроксикоричные кислоты, мг%	885,0–1260,7	880,3–1292,7	933,7–1126,7
Растворимые сахара, %	45,3–49,0	47,3–52,3	48,0–53,0
Сахарокислотный индекс	6,0–9,3	10,5–16,1	11,3–15,2
Пектиновые вещества, %	7,47–8,83	7,80–9,57	7,90–8,87
Собственно антоцианы, мг%	6650,0–8820,0	7140,0–7420,0	6463,3–7140,0
Лейкоантоцианы, мг%	5877,7–5920,7	5873,0–7140,0	6125,0–6388,7
Сумма антоциановых пигментов, мг%	12527,7–14740,7	13013,0–14560,0	12588,3–13528,7
Катехины, мг%	1228,5–1547,0	1365,0–2002,0	1410,5–1759,3
Флавонолы, мг%	3561,0–3775,0	3331,8–3698,6	2751,0–3484,6
Сумма биофлавоноидов, мг%	17317,2–20062,7	18076,6–19893,8	17483,4–18039,0
Дубильные вещества, %	3,20–4,75	2,70–4,25	2,95–4,55
Показатель	4-й	5-й	6-й
Сухие вещества, %	17,0–18,5	17,9–18,8	16,2–17,4
Свободные органические кислоты, %	3,68–3,79	2,39–4,04	3,00–3,76
Аскорбиновая кислота, мг%	285,2–399,2	299,7–321,0	297,4–356,0
Гидроксикоричные кислоты, мг%	929,0–1058,0	1016,3–1182,3	897,0–1163,7
Растворимые сахара, %	50,0–55,0	45,3–50,0	54,3–58,7
Сахарокислотный индекс	13,2–14,9	11,2–20,9	14,5–19,5
Пектиновые вещества, %	7,47–8,20	7,53–8,47	8,17–8,50
Собственно антоцианы, мг%	4596,7–4900,0	4083,3–4830,0	4340,0–5810,0
Лейкоантоцианы, мг%	4928,0–6353,7	4895,3–5058,7	6398,0–6657,0
Сумма антоциановых пигментов, мг%	9828,0–10950,3	8978,7–9888,7	10738,0–12467,0
Катехины, мг%	1380,2–1820,0	1365,0–1607,7	1380,2–1410,5
Флавонолы, мг%	2368,9–3331,8	2613,5–3973,7	2644,0–2903,8
Сумма биофлавоноидов, мг%	14539,9–15139,3	13199,8–15227,3	14792,5–16751,0
Дубильные вещества, %	2,60–4,30	2,65–5,15	2,35–4,25
Показатель	Сорт <i>Northcountry</i>		
	1-й	2-й	3-й
Сухие вещества, %	14,3–17,3	14,5–15,6	15,6–15,8
Свободные органические кислоты, %	5,69–6,30	4,15–6,17	5,02–6,05
Аскорбиновая кислота, мг%	338,5–352,4	339,9–363,8	315,5–339,9
Гидроксикоричные кислоты, мг%	620,7–683,3	538,0–538,8	597,7–623,0
Растворимые сахара, %	43,0–54,3	46,7–57,0	40,3–51,7
Сахарокислотный индекс	5,7–9,6	10,4–13,7	9,5–10,3
Пектиновые вещества, %	5,37–7,07	5,13–7,13	5,73–7,60
Собственно антоцианы, мг%	6673,3–9413,3	7140,0–7240,0	9170,0–9360,0
Лейкоантоцианы, мг%	4792,7–4852,0	5326,7–7875,0	4108,0–7756,0
Сумма антоциановых пигментов, мг%	11466,0–14265,3	12566,7–15015,0	13468,0–16926,0
Катехины, мг%	1178,7–1319,5	1230,7–1243,7	1291,3–1471,2
Флавонолы, мг%	2644,0–2803,4	2414,8–2995,5	3004,3–3484,6
Сумма биофлавоноидов, мг%	15429,5–18247,4	16792,9–18673,4	17763,6–21881,8
Дубильные вещества, %	3,70–4,25	3,25–3,90	1,75–3,20
Показатель	4-й	5-й	6-й
Сухие вещества, %	14,5–17,7	15,0–16,5	14,7–17,0
Свободные органические кислоты, %	6,84–7,32	5,25–6,92	3,95–5,14
Аскорбиновая кислота, мг%	310,7–327,8	277,3–316,6	290,3–340,3
Гидроксикоричные кислоты, мг%	703,7–743,8	551,7–693,8	575,5–777,3
Растворимые сахара, %	45,3–58,0	45,3–56,0	47,3–60,7
Сахарокислотный индекс	7,9–12,0	10,7–11,2	12,6–15,4

Окончание табл. 1

Показатель	Сорт <i>Northcountry</i>		
	4-й	5-й	6-й
Пектиновые вещества, %	7,13–8,43	6,77–8,17	5,73–7,70
Собственно антоцианы, мг%	9426,7–9496,7	8120,0–10093,3	7093,3–11526,7
Лейкоантоцианы, мг%	4214,7–7611,3	4137,3–6076,0	4173,3–8129,3
Сумма антоциановых пигментов, мг%	13641,3–17108,0	14196,0–14230,7	11266,7–19656,0
Катехины, мг%	1092,0–1213,3	1198,2–1239,3	1196,0–1365,0
Флавонолы, мг%	3073,9–3499,9	2637,5–2858,0	2593,8–3897,3
Сумма биофлавоноидов, мг%	17928,5–21699,9	18107,5–18252,2	15056,5–24918,3
Дубильные вещества, %	4,25–5,65	4,35–4,75	3,45–4,40
Показатель	Сорт <i>Northblue</i>		
	1-й	2-й	3-й
Сухие вещества, %	15,5–16,8	14,3–18,0	15,5–18,1
Свободные органические кислоты, %	5,25–7,25	4,15–4,56	5,28–6,68
Аскорбиновая кислота, мг%	333,9–357,6	302,4–382,4	288,3–335,7
Гидроксикоричные кислоты, мг%	528,7–740,3	616,3–620,7	556,3–662,0
Растворимые сахара, %	51,7–53,0	48,0–57,0	46,7–58,0
Сахарокислотный индекс	7,3–9,8	10,5–13,7	7,0–11,0
Пектиновые вещества, %	5,73–7,70	6,23–8,23	6,57–8,07
Собственно антоцианы, мг%	6601,0–7653,3	5856,7–10523,3	6766,7–9963,3
Лейкоантоцианы, мг%	5117,0–5320,0	5609,3–6251,0	5002,7–6234,7
Сумма антоциановых пигментов, мг%	11921,0–12770,3	11466,0–16774,3	11769,3–16198,0
Катехины, мг%	1334,7–1683,5	1258,8–1410,5	1274,0–1349,8
Флавонолы, мг%	2659,3–2949,7	2720,4–2934,4	2598,2–3285,9
Сумма биофлавоноидов, мг%	15915,0–17403,5	15596,9–20967,6	15717,3–20757,9
Дубильные вещества, %	3,40–3,60	3,20–3,35	2,45–4,90
Показатель	4-й	5-й	6-й
Сухие вещества, %	15,4–17,7	13,7–17,0	14,3–17,8
Свободные органические кислоты, %	3,98–4,86	4,82–7,37	3,86–4,74
Аскорбиновая кислота, мг%	307,4–371,4	320,8–377,7	306,5–358,6
Гидроксикоричные кислоты, мг%	593,0–611,7	547,0–786,3	602,3–657,7
Растворимые сахара, %	46,7–52,3	44,7–49,0	54,3–60,0
Сахарокислотный индекс	10,8–11,7	6,6–9,3	11,5–15,6
Пектиновые вещества, %	6,93–8,37	7,67–9,13	8,47–10,53
Собственно антоцианы, мг%	6370,0–7420,0	7420,0–7700,0	5366,7–8540,0
Лейкоантоцианы, мг%	4125,3–6078,3	4925,7–8134,0	4461,3–6293,0
Сумма антоциановых пигментов, мг%	10495,3–13498,3	12345,7–15834,0	9828,0–14833,0
Катехины, мг%	1380,2–1547,0	1486,3–1638,0	1622,8–1622,9
Флавонолы, мг%	2368,9–3102,5	2873,3–3194,2	2598,2–3102,5
Сумма биофлавоноидов, мг%	14244,4–18147,9	17177,9–20193,6	14049,0–19558,4
Дубильные вещества, %	2,70–4,55	2,95–4,05	3,30–3,75

На наш взгляд, наиболее объективное представление о степени данной зависимости можно составить на основе анализа коэффициентов вариации (V) усредненных в двулетнем цикле наблюдений параметров накопления в плодах отдельных соединений в вариантах полевого опыта с внесением минеральных и микробных удобрений. Сравнительный анализ данных материалов позволил выявить характеристики биохимического состава плодов голубики и обозначить ее таксоны, обладающие разной степенью устойчивости к действию эдафического фактора. Ведь по общепринятым мнению степень варьирования того или иного признака косвенно указывает на уровень его зависимости от исследуемых факторов (в данном случае – эдафического), т. е. чем выше коэффициент вариации, тем сильнее эта зависимость и наоборот. При этом мы ориентировались на шкалу Г. Н. Зайцева [14], предусматривающую распределение признаков на пять групп: с очень низким уровнем изменчивости ($V < 7\%$), низким ($V = 8–12\%$), средним ($V = 13–20\%$), повышенным ($V = 21–40\%$) и очень высоким ($V > 41\%$).

Анализ данных табл. 2, в которой приведены средневзвешенные в рамках полевого эксперимента значения коэффициентов вариации усредненных в двулетнем цикле наблюдений количественных характеристик биохимического состава плодов исследуемых таксонов голубики позволил выявить у них в большинстве случаев сходство параметров изменчивости анализируемых признаков, характеризующих степень их зависимости от уровня минерального питания. При этом наименее выражительными (в пределах очень малой изменчивости) они оказались для содержания сухих веществ,

аскорбиновой кислоты и растворимых сахаров у *V. angustifolium* – для такового пектиновых веществ и, как и у сорта *Northblue*, – для содержания гидроксикоричных кислот и дубильных веществ, у сорта *Northcountry* – для катехинов и суммарного содержания антоциановых пигментов, а у сортовой голубики – также для общего количества Р-витаминов, что позволяло охарактеризовать данные признаки как наиболее устойчивые к эдафическому фактору.

Несколько меньшим у всех таксонов голубики оказался спектр показателей с низким уровнем вариабельности в рамках эксперимента, к которым следовало отнести содержание в плодах лейкоантоцианов, у *V. angustifolium* – общее количество Р-витаминов, у сорта *Northcountry* – гидроксикоричных кислот и пектиновых веществ и, как и у сорта *Northblue*, – собственно антоцианов. Малой изменчивостью у сорта *Northcountry* и у *V. angustifolium* характеризовались также параметры накопления в плодах флавонолов. Средний уровень изменчивости был выявлен у весьма ограниченного набора анализируемых признаков, к которым у *V. angustifolium* было отнесено лишь суммарное количество антоциановых пигментов, а у обоих гибридов голубики – содержание свободных органических кислот. Аналогичным уровнем вариабельности у сорта *Northcountry* характеризовался сахарокислотный индекс плодов, а у сорта *Northblue* – содержание пектиновых веществ. Повышенным же уровнем изменчивости у первого из них было отмечено лишь содержание дубильных веществ, тогда как у сорта *Northblue* – показатель сахарокислотного индекса, который, наряду с содержанием свободных органических кислот и собственно антоцианов, обладал повышенной вариабельностью также и у *V. angustifolium*. При этом ни для одного из исследуемых показателей не было выявлено очень высокого уровня изменчивости (см. табл. 2).

Как следует из табл. 3, среди таксонов голубики минимальной в эксперименте долей показателей с незначительной изменчивостью и максимальной долей признаков с повышенной изменчивостью характеризовалась *V. angustifolium*, что свидетельствовало о ее более выраженной, по сравнению с межвидовыми гибридами, зависимости от уровня минерального питания.

Таблица 2. Средневзвешенные значения коэффициентов вариации усредненных в двухлетнем цикле наблюдений показателей биохимического состава плодов голубики в рамках полевого эксперимента

Table 2. Weight mean values of the coefficients of variation of the indicators of the biochemical composition of blueberry fruits averaged over a two-year cycle of observations in the field experiment

Показатель	<i>V. angustifolium</i>		Сорт <i>Northcountry</i>		Сорт <i>Northblue</i>	
	Уровень из-менчивости (V, %)	Область градации изменчивости*	Уровень из-менчивости (V, %)	Область градации изменчивости*	Уровень из-менчивости (V, %)	Область градации изменчивости*
Сухие вещества	6,1	1	2,2	1	3,0	1
Свободные органические кислоты	28,7	4	15,2	3	18,4	3
Аскорбиновая кислота	5,5	1	6,2	1	4,0	1
Гидроксикоричные кислоты	3,9	1	9,9	2	3,7	1
Растворимые сахара	6,8	1	5,5	1	6,7	1
Сахарокислотный индекс	24,0	4	19,9	3	21,4	4
Пектиновые вещества	3,7	1	9,7	2	12,8	3
Собственно антоцианы	23,6	4	10,4	2	8,5	2
Лейкоантоцианы	10,0	2	11,6	2	9,4	2
Сумма антоциановых пигментов	15,1	3	7,2	1	7,7	2
Катехины	7,8	2	6,0	1	8,4	2
Флавонолы	11,1	2	9,8	2	3,7	1
Сумма биофлавоноидов	12,2	2	7,1	1	6,0	1
Дубильные вещества	7,5	1	21,8	4	3,9	1
Среднее для таксона голубики	11,9	–	10,2	–	8,4	–

*1 – < 7%; 2 – 8–12%; 3 – 13–20%; 4 – 21–40%.

Таблица 3. Относительная доля показателей биохимического состава плодов голубики с разным уровнем изменчивости в рамках полевого эксперимента, %

Table 3. The relative share of indicators of the biochemical composition of blueberry fruits with different levels of variability in the field experiment, %

Таксон	Уровень изменчивости, %				
	очень низкий (<7)	низкий (8–12)	средний (13–20)	повышенный (21–40)	очень высокий (>41)
<i>V. angustifolium</i>	43	29	7	21	0
Сорт <i>Northcountry</i>	43	36	14	7	0
Сорт <i>Northblue</i>	50	29	14	7	0

Это согласуется с данными табл. 2, указывающими на то, что наиболее высокий интегральный уровень устойчивости биохимического состава плодов к эдафическому фактору, оцениваемый по средневзвешенным значениям вариабельности совокупности анализируемых признаков в рамках полевого эксперимента, установлен у сорта *Northblue* (8,4 %), тогда как наиболее низкий – у *V. angustifolium* (11,9 %) при промежуточном положении сорта *Northcountry* (10,2 %).

Представление о степени зависимости рассматриваемых признаков в вариантах полевого опыта от комплексного воздействия метеорологических факторов также было получено на основе анализа коэффициентов вариации (*V*) с использованием шкалы Г. Н. Зайцева [14]. Сравнительный анализ данных материалов позволил выявить характеристики биохимического состава плодов, обладающие разной степенью устойчивости к гидротермическому режиму сезона, равно как и обозначить варианты опыта, обеспечивающие наиболее высокую устойчивость к нему каждого таксона голубики. Как следует из табл. 4, изменчивость показателей биохимического состава плодов голубики в вариантах полевого опыта в двухлетнем цикле наблюдений в значительной мере определялась генотипом растений и химической природой исследуемых соединений. К примеру, у *V. angustifolium* на долю самых устойчивых признаков с очень низким уровнем изменчивости приходилось от 29 % в контроле до 50 % в 3-м варианте опыта с внесением 50 %-ного раствора удобрения МакЛор, для которого было показано наименьшее в эксперименте долевое участие признаков с низким уровнем изменчивости (табл. 5). Наибольшее же долевое участие признаков с подобной изменчивостью установлено в 5-м варианте опыта с совместным внесением препаратов Бактопин и АгроМик, отмеченном отсутствием признаков со средним уровнем изменчивости при максимальном их количестве в 3-м и 6-м ($N_{16}P_{16}K_{16}$) вариантах опыта. Наиболее высокой долей признаков с повышенным уровнем изменчивости в годы наблюдений, достигавшей 36 %, характеризовался 2-й вариант опыта с совместным внесением 10 %-ного раствора удобрения МакЛор и сухого микоризного удобрения АгроМик. При этом лишь в единичном случае – в 5-м варианте опыта – были выявлены характеристики биохимического состава плодов с очень высоким уровнем изменчивости, на долю которых приходилось до 14% от их общего количества.

При усреднении в рамках полевого эксперимента показателей долевого участия признаков с разным уровнем изменчивости в двухлетнем цикле наблюдений было установлено, что основное их количество (почти 60 %) отличалось очень низкими и в меньшей степени низкими его значениями, тогда как на долю признаков со средней, повышенной и очень высокой изменчивостью приходилось 18, 21 и 2 % соответственно. Это свидетельствовало о сравнительно слабой зависимости биохимического состава плодов *V. angustifolium* в целом от погодных условий вегетационного периода (см. табл. 5).

У межвидовых гибридов голубики были выявлены заметные различия в уровне изменчивости анализируемых признаков в годы наблюдений. В частности, максимальным количеством таковых с ее очень низким уровнем, достигавшим у сортов *Northcountry* и *Northblue* 50 и 57 % соответственно, были отмечены разные варианты опыта: 5-й – в первом случае и контрольный – во втором случае. Минимальным же количеством подобных признаков, вплоть до их полного отсутствия – 6-й и 3-й варианты опыта соответственно. Диапазоны варьирования в рамках эксперимента доли признаков с низким и средним уровнями изменчивости у данных таксонов голубики соответствовали областям значений: в первом случае – от 0 до 21 % и от 7 до 29 %; во втором случае – от 29 до 36 % и от 7 до 44 % при отсутствии сходства в динамике данных показателей по вариантам опыта. Подобная картина наблюдалась и для повариантного распределения долевого участия показателей с повышенным уровнем изменчивости, диапазоны которого соответствовали областям значений 0–43 % и 14–37 % с максимумами у обоих гибридов только на фоне внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$. При этом в биохимическом составе их плодов было показано наличие признаков с очень высоким уровнем изменчивости при использовании 50 %-ного раствора препарата МакЛор, а у сорта *Northcountry* это имело место и при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ (см. табл. 5).

Таблица 4. Усредненные значения коэффициентов вариации (V, %) количественных показателей биохимического состава плодов голубики в двухлетнем цикле наблюдений в вариантах полевого опыта**Table 4. Averaged values of the coefficients of variation (V, %) of quantitative indicators of the biochemical composition of blueberry fruits in a two-year cycle of observations in variants of field experience**

Показатель	Вариант опыта						Среднее для показателя
	1	2	3	4	5	6	
<i>V. angustifolium</i>							
Сухие вещества	4,0	4,7	0,9	6,0	3,5	5,1	4,0
Свободные органические кислоты	25,4	23,0	14,4	2,1	36,3	15,9	19,5
Аскорбиновая кислота	14,6	10,9	0,8	23,6	4,9	12,7	11,3
Гидроксикоричные кислоты	24,8	26,8	13,2	9,2	10,7	18,3	17,2
Растворимые сахара	5,5	7,1	7,0	6,7	7,0	5,5	6,5
Сахарокислотный индекс	30,5	29,8	20,8	8,6	42,7	20,8	25,5
Пектиновые вещества	11,8	14,4	8,2	6,6	8,3	2,8	8,7
Собственно антоцианы	19,8	2,7	7,0	4,5	11,8	20,5	11,1
Лейкоантоцианы	0,5	13,8	3,0	17,9	2,3	2,8	6,7
Сумма антоциановых пигментов	11,5	7,9	5,1	7,6	6,8	10,5	8,2
Катехины	16,2	26,8	15,6	19,4	11,5	1,5	15,2
Флавонолы	4,1	7,4	16,6	23,9	29,2	6,6	14,6
Сумма биофлавоноидов	10,4	6,8	2,2	2,9	10,1	8,8	6,9
Дубильные вещества	27,6	31,5	30,2	34,8	45,3	40,7	35,0
Среднее для варианта	14,8	15,3	10,4	12,4	16,5	12,3	
Сорт <i>Northcountry</i>							
Сухие вещества	13,4	5,2	0,9	14,1	6,7	10,3	8,4
Свободные органические кислоты	7,2	27,7	13,2	4,8	19,4	18,5	15,1
Аскорбиновая кислота	2,8	4,8	5,3	3,8	9,4	11,2	6,2
Гидроксикоричные кислоты	6,8	0,1	2,9	3,9	16,1	21,1	8,5
Растворимые сахара	16,4	14,0	17,5	17,4	14,9	17,5	16,3
Сахарокислотный индекс	36,0	19,4	5,7	29,1	3,2	14,1	17,9
Пектиновые вещества	19,3	23,1	19,8	11,8	13,3	20,7	18,0
Собственно антоцианы	24,1	1,0	1,5	0,5	15,3	33,7	12,7
Лейкоантоцианы	0,9	27,3	43,5	40,6	26,8	45,5	30,8
Сумма антоциановых пигментов	15,4	12,6	16,1	15,9	0,2	38,4	16,4
Катехины	8,0	0,7	9,2	7,4	2,4	9,3	6,2
Флавонолы	4,1	15,2	10,5	9,2	5,7	28,4	12,2
Сумма биофлавоноидов	11,8	7,5	14,7	13,5	0,6	34,9	13,8
Дубильные вещества	9,8	12,9	41,4	20,0	6,2	17,1	17,9
Среднее для варианта	12,6	12,3	14,4	13,7	10,0	22,9	
Сорт <i>Northblue</i>							
Сухие вещества	5,7	16,2	10,9	9,8	15,2	15,4	12,2
Свободные органические кислоты	22,6	6,7	16,6	14,1	29,6	14,5	17,4
Аскорбиновая кислота	4,8	16,5	10,7	13,3	11,5	11,1	11,3
Гидроксикоричные кислоты	23,6	0,5	12,3	2,2	25,4	6,2	11,7
Растворимые сахара	1,8	12,1	15,3	8,0	6,5	7,1	8,5
Сахарокислотный индекс	20,7	18,7	31,4	5,7	24,0	21,4	20,3
Пектиновые вещества	20,7	19,6	14,5	13,3	12,3	15,3	16,0
Собственно антоцианы	10,4	40,3	27,0	10,8	2,6	32,3	20,6
Лейкоантоцианы	2,8	7,7	15,5	27,1	34,7	24,1	18,7
Сумма антоциановых пигментов	4,9	26,6	22,4	17,7	17,5	28,7	19,6
Катехины	16,3	8,0	4,1	8,1	6,9	0	7,2
Флавонолы	7,3	5,4	16,5	19,0	7,5	12,5	11,4
Сумма биофлавоноидов	6,3	20,8	19,5	17,0	11,4	23,2	16,4
Дубильные вещества	4,0	3,2	47,1	36,1	22,2	9,0	20,3
Среднее для варианта	10,9	14,5	18,8	14,4	16,2	15,8	

Таблица 5. Относительная доля показателей биохимического состава плодов голубики с разным уровнем изменчивости в двухлетнем цикле наблюдений в вариантах полевого опыта, %

Table 5. Relative share of indicators of the biochemical composition of blueberry fruits with different levels of variability in a two-year cycle of observations in field experience options, %

Вариант опыта	Уровень изменчивости, %				
	очень низкий (<7)	низкий (8–12)	средний (13–20)	повышенный (21–40)	очень высокий (>41)
<i>V. angustifolium</i>					
1	29	21	21	29	0
2	36	14	14	36	0
3	50	7	29	14	0
4	43	21	15	21	0
5	36	36	0	14	14
6	43	14	29	14	0
Средневзвешенное значение	40	19	18	21	2
Сорт <i>Northcountry</i>					
1	36	21	29	14	0
2	43	0	36	21	0
3	36	14	36	0	14
4	36	14	36	14	0
5	50	7	36	7	0
6	0	21	29	43	7
Средневзвешенное значение	34	13	34	16	3
Сорт <i>Northblue</i>					
1	57	7	7	29	0
2	29	21	29	21	0
3	7	21	44	21	7
4	14	29	43	14	0
5	29	21	14	36	0
6	21	21	21	37	0
Средневзвешенное значение	26	20	26	26	2

Заметим, что у межвидовых гибридов голубики средняя в эксперименте суммарная доля показателей с очень низким и низким уровнями изменчивости в двухлетнем цикле наблюдений была примерно одинаковой и составляла 46–47 % от их общего количества, что в 1,3 раза уступало таковой у *V. angustifolium*, что свидетельствовало о меньшей в целом устойчивости биохимического состава плодов сортовой голубики к метеорологическим факторам по сравнению с ее узколистным видом. При этом для сорта *Northcountry* было показано не только более значительное, чем у сорта *Northblue*, превышение доли признаков с очень низким уровнем изменчивости относительно таковой с низким уровнем, но и в 1,5 раза меньшая, чем у него, доля признаков с повышенным и очень высоким уровнями изменчивости, что указывало на большую зависимость биохимического состава плодов второго сорта от гидротермического режима сезона.

Вместе с тем значительная ширина приведенных выше диапазонов варьирования в рамках эксперимента доли признаков с разной изменчивостью у всех опытных таксонов голубики свидетельствовала также о существенном влиянии эдафического фактора на устойчивость биохимического состава плодов к метеорологическим факторам. Это подтверждается заметными межвариантными различиями интегрального уровня его изменчивости в двухлетнем цикле наблюдений, оцениваемого по средневзвешенным значениям вариабельности совокупности анализируемых признаков (см. табл. 4). Так, в эксперименте с *V. angustifolium* он соответствовал области значений от 10,4 до 16,5 % при следующей последовательности его вариантов в порядке их увеличения, т. е. усиления степени зависимости биохимического состава плодов от погодных условий вегетационного периода:

$$3 < 6 = 4 < 1 < 2 < 5.$$

Как видим, наиболее устойчивым к их комплексному воздействию он оказался в 3-м варианте с внесением 50 %-ного раствора жидкого удобрения МакЛор, тогда как наименее устойчивым – на фоне совместного использования препаратов Бактопин и АМГ при расхождении у них данного параметра в 1,6 раза. Заметим, что внесение $N_{16}P_{16}K_{16}$ и жидкого препарата АгроМик также обусловило более высокую, чем в контроле, устойчивость биохимического состава плодов *V. angustifolium* к гидротермическому режиму сезона.

Подобный диапазон изменения средневзвешенных значений коэффициентов вариации совокупности анализируемых признаков в эксперименте с сортом *Northcountry* соответствовал более широкой, чем у узколистного вида, области значений – от 10,0 до 22,9 % при следующем расположении тестируемых вариантов в соответствии с усилением степени зависимости биохимического состава плодов от метеорологических факторов:

$$5 < 2 < 1 < 4 < 3 < 6.$$

Как видим, наименьшую зависимость от них интегрального уровня питательной и витаминной ценности плодов данного сорта обеспечивало совместное использование препаратов Бактопин и АМГ, тогда как наибольшую – внесение N₁₆P₁₆K₁₆ при расхождении у них данного параметра в 2,3 раза. При этом совместное внесение препаратов Маклор в 10%-ной концентрации и АМГ обусловило более высокую, чем в контроле, устойчивость биохимического состава плодов сорта *Northcountry* к гидротермическому режиму сезона.

Что касается сорта *Northblue*, то диапазон изменения в рамках полевого опыта средневзвешенных значений коэффициентов вариации совокупности анализируемых признаков был примерно сопоставим с таковым у сорта *Northcountry* и охватывал область значений от 10,9 до 18,8 % при следующем расположении тестируемых вариантов опыта в порядке усиления зависимости биохимического состава плодов от метеорологических факторов:

$$1 < 4 = 2 < 6 < 5 < 3.$$

Отсюда следует, что у данного сорта голубики наибольшей устойчивостью к гидротермическому режиму сезона характеризовался интегральный уровень питательной и витаминной ценности плодов в контроле, тогда как в вариантах опыта с внесением удобрений она была ниже в 1,3–1,7 раза, особенно при использовании жидкого удобрения Маклор в 50 %-ной концентрации.

Резюмируя вышеизложенное, нельзя не заметить существенных генотипических различий в степени зависимости совокупности биохимических характеристик плодов голубики от комплексного влияния метеорологических факторов на фоне внесения микробных и минеральных удобрений. Как было показано выше, значительное влияние на изменчивость анализируемых признаков в годы наблюдений оказывала также химическая природа исследуемых соединений. Возвращаясь к табл. 4, нетрудно убедиться, что лишь для содержания сухих веществ и растворимых сахаров в плодах *V. angustifolium*, как и у сорта *Northcountry*, во всех вариантах опыта установлено соответствие уровня вариабельности определенной области принятой градации, тогда как для остальных характеристик их биохимического состава диапазон его изменений охватывал несколько областей данной градации. На наш взгляд, в этом случае интегральное представление о степени устойчивости к атмосферным воздействиям показателей биохимического состава плодов голубики в двулетнем цикле наблюдений могут дать усредненные в рамках эксперимента значения коэффициентов вариации, приведенные в табл. 4. Анализ этих данных позволил установить у гибридов голубики выраженное сходство параметров изменчивости абсолютного большинства анализируемых признаков, характеризующих степень их межсезонных различий. Лишь для содержания аскорбиновой кислоты, растворимых сахаров и компонентов антоцианового комплекса подобного сходства выявить не удалось. При этом для показателей биохимического состава плодов *V. angustifolium* и сортовой голубики, за исключением аскорбиновой и титруемых кислот, в этом плане были также установлены существенные межвидовые различия.

У межвидовых гибридов голубики наименьшая вариабельность в двулетнем цикле наблюдений отмечена лишь в единичных случаях – для содержания в плодах катехинов и аскорбата у сорта *Northcountry*, что позволяло охарактеризовать данные показатели как наиболее устойчивые к гидротермическому режиму вегетационного периода. В отличие от сортовой голубики, у узколистного вида очень низким уровнем изменчивости характеризовался более значительный набор показателей – содержание сухих веществ, растворимых сахаров, лейкоантоцианов и общее количество биофлавоноидов. Значительно шире у исследуемых таксонов голубики оказался спектр показателей с малой изменчивостью в двулетнем цикле. Так, у гибридов голубики к ним следовало отнести содержание сухих веществ, гидроксикоричных кислот, флавонолов, аскорбиновой кислоты (сорт *Northcountry*) и растворимых сахаров (сорт *Northblue*). Для *V. angustifolium* был показан несколько иной набор показателей с малой изменчивостью – содержание аскорбиновой кислоты, пектинов, собственно антоцианов и общее количество антоциановых пигментов, что также позволяло отнести обозначенные признаки к сравнительно устойчивым к воздействию метеорологических факторов. Примерно половина показателей биохимического состава плодов сортовой голубики характеризовалась средним уровнем изменчивости, тогда как у узколистного вида их количество не превышало четырех. Повышенным же уровнем изменчивости в годы наблюдений были отмечены лишь единичные показатели – сахарокислотный индекс и содержание дубильных веществ у *V. angustifolium*, содержание лейкоантоцианов у сорта *Northcountry* и собственно антоци-

анов у сорта *Northblue*. При этом ни для одного из показателей биохимического состава плодов голубики не было установлено очень высокого интегрального уровня данной изменчивости.

Поскольку значения первых двух областей градации изменчивости могут быть использованы в качестве критерия устойчивости биохимических характеристик к комплексному воздействию погодных факторов, то наиболее высоким ее уровнем у всех таксонов голубики следовало признать содержание в плодах сухих веществ и аскорбиновой кислоты, у *V. angustifolium* – таковое пектиновых веществ, обоих компонентов антоцианового комплекса, общее количество Р-витаминов, и так же, как и у сорта *Northblue*, растворимых сахаров. При этом в плодах обоих межвидовых гибридов голубики наименее выраженной зависимостью от гидротермического режима сезона характеризовалось содержание гидроксикоричных кислот, катехинов и флавонолов.

На основании сопоставления установленных в данных исследованиях показателей изменчивости характеристик биохимического состава плодов голубики в двулетнем цикле наблюдений и в рамках полевого эксперимента были определены различия в степени их устойчивости к метеорологическим и эдафическим факторам (табл. 6). Нетрудно убедиться в существенных генотипических различиях в этом плане. Так, у *V. angustifolium* влияние гидротермического режима сезона на сахарокислотный индекс плодов, содержание в них аскорбиновой и гидроксикоричных кислот, пектиновых и дубильных веществ, катехинов и флавонолов в 1,1–4,7 раза превосходило таковое минерального фона, оказывавшего в 1,5–2,1 раза более сильное воздействие на накопление сухих веществ, титруемых кислот, обоих компонентов антоцианового комплекса и общее содержание Р-витаминов при отсутствии различий в этом плане для содержания растворимых сахаров. Несколько иная картина наблюдалась у межвидовых гибридов голубики, характеризовавшихся выраженным сходством в приоритетном значении анализируемых факторов для биохимического состава их плодов. Так, у обоих сортов содержание в них сухих и пектиновых веществ, растворимых сахаров, флавонолов, компонентов антоцианового комплекса и общее количество Р-витаминов в 1,2–4,1 раза в большей степени определялось гидротермическим режимом сезона, нежели уровнем арохимического обеспечения, влияние которого в 1,1 раза было более значительным лишь для содержания титруемых кислот катехинов и показателя сахарокислотного индекса.

Таблица 6. Соотношение усредненных значений коэффициентов вариации показателей биохимического состава плодов опытных таксонов голубики в двулетнем цикле наблюдений в рамках полевого эксперимента

Table 6. The ratio of the averaged values of the coefficients of variation of the indicators of the biochemical composition of the fruits of the experienced blueberry taxa in a two-year cycle of observations in the framework of the field experiment

Показатель	<i>V. angustifolium</i>			Сорт <i>Northcountry</i>			Сорт <i>Northblue</i>		
	<i>V_{М.}</i> , %	<i>V_{Эд.}</i> , %	<i>V_{М.} ÷ V_{Эд.}</i>	<i>V_{М.}</i> , %	<i>V_{Эд.}</i> , %	<i>V_{М.} ÷ V_{Эд.}</i>	<i>V_{М.}</i> , %	<i>V_{Эд.}</i> , %	<i>V_{М.} ÷ V_{Эд.}</i>
Сухие вещества	4,0	6,1	0,7	8,4	2,2	3,8	12,2	3,0	4,1
Свободные органические кислоты	19,5	28,7	0,7	15,1	15,2	1,0	17,4	18,4	0,9
Аскорбиновая кислота	11,3	5,5	2,1	6,2	6,2	1,0	11,3	4,0	2,8
Гидроксикоричные кислоты	17,2	3,9	4,4	8,5	9,9	0,9	11,7	3,7	3,2
Растворимые сахара	6,5	6,8	1,0	16,3	5,5	3,0	8,5	6,7	1,3
Сахарокислотный индекс	25,5	24,0	1,1	17,9	19,9	0,9	20,3	21,4	0,9
Пектиновые вещества	8,7	3,7	2,4	18,0	9,7	1,9	16,0	12,8	1,3
Собственно антоцианы	11,1	23,6	0,5	12,7	10,4	1,2	20,6	8,5	2,4
Лейкоантоцианы	6,7	10,0	0,7	30,8	11,6	2,7	18,7	9,4	2,0
Сумма антоциановых пигментов	8,2	15,1	0,5	16,4	7,2	2,3	19,6	7,7	2,5
Катехины	15,2	7,8	1,9	6,2	6,0	1,0	7,2	8,4	0,9
Флавонолы	14,6	11,1	1,3	12,2	9,8	1,2	11,4	3,7	3,1
Сумма биофлавонидов	6,9	12,2	0,6	13,8	7,1	1,9	16,4	6,0	2,7
Дубильные вещества	35,0	7,5	4,7	17,9	21,8	0,8	20,3	3,9	5,2
Среднее для таксона голубики	13,6	11,9	1,1	14,3	10,2	1,4	15,1	8,4	1,8

Примечание: *V_{М.}* – изменчивость в двулетнем цикле наблюдений, *V_{Эд.}* – изменчивость в рамках полевого эксперимента.

Вместе с тем имели место и сортовые различия. В частности, для сорта *Northblue* была показана более выраженная зависимость содержания в плодах дубильных веществ, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот от погодных условий, тогда как для сорта *Northcountry*, напротив, от эдафического фактора. Тем не менее соотношение средневзвешенных значений коэффициентов вариации анализируемых признаков в двухлетнем цикле наблюдений и в рамках полевого эксперимента, характеризующее интегральную картину приоритетного значения исследуемых факторов при формировании биохимического состава плодов, у всех таксонов голубики превышало 1,0, что указывало на определяющую роль в его формировании метеорологических факторов при наибольшей их значимости для сорта *Northblue* и наименьшей для узколистного вида голубики.

Заключение. В результате сравнительного исследования на рекультивируемом участке вышедшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения верхового типа на севере Беларусь в рамках полевого эксперимента с внесением полного минерального и микробных удобрений МаКлор, АгроМик и Бактопин при дифференцированном и совместном применении в контрастные по характеру погодных условий сезоны 2017 и 2018 г. уровней вариабельности 14 количественных характеристик биохимического состава плодов *V. angustifolium*, а также межвидовых гибридов (*V. angustifolium* × *V. corymbosum*) *Northcountry* и *Northblue* установлено следующее.

Наибольшая устойчивость к действию эдафического фактора выявлена для содержания в плодах голубики сухих веществ, аскорбиновой кислоты и растворимых сахаров, наименьшая – для показателя сахарокислотного индекса, содержания органических кислот и собственно антоцианов. Наиболее высоким уровнем устойчивости биохимического состава плодов голубики к уровню минерального питания характеризовался сорт *Northblue*, наиболее низким – *V. angustifolium* при промежуточном положении сорта *Northcountry*.

Степень зависимости биохимического состава плодов голубики от метеорологических факторов в значительной мере определялась видом удобрений, генотипом растений и химической природой органических соединений. Интегральный уровень питательной и витаминной ценности плодов *V. angustifolium* характеризовался в 1,3 раза большей устойчивостью к метеорологическим факторам, по сравнению с межвидовыми гибридами, особенно с сортом *Northblue*, при существенном влиянии на степень данной устойчивости испытываемых агроприемов. Показано, что внесение $N_{16}P_{16}K_{16}$, жидкого препарата АгроМик и особенно 50 %-ного раствора удобрения МаКлор способствовало ослаблению зависимости биохимического состава плодов *V. angustifolium* от погодных условий вегетационного периода по сравнению с контролем, тогда как внесение сухого микрозного удобрения АМГ в сочетании с 10 %-ным раствором препарата МаКлор либо с препаратом Бактопин, напротив, усиливало ее в 1,6 раза. Наименьшая зависимость питательной и витаминной ценности плодов сорта *Northcountry* от гидротермического режима сезона выявлена при совместном использовании препаратов Бактопин и АМГ, тогда как наибольшая (с превышением в 2,3 раза) – при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$. У сорта *Northblue* показано усиление в 1,3–1,7 раза зависимости биохимического состава плодов от метеорологических факторов на фоне всех испытываемых агроприемов, особенно с использованием удобрения МаКлор в 50 %-ной концентрации.

Показано, что в ряду количественных показателей биохимического состава плодов всех таксонов голубики наибольшей устойчивостью к комплексному воздействию погодных факторов характеризовалось содержание сухих веществ и аскорбиновой кислоты, у *V. angustifolium* – пектиновых веществ, обоих компонентов антоцианового комплекса, общее количество Р-витаминов и, как и у сорта *Northblue*, растворимых сахаров, тогда как у обоих гибридов голубики к ним было отнесено также содержание гидроксикоричных кислот, катехинов и флавонолов. Соответственно, наименьшей устойчивостью к гидротермическому режиму сезона у *V. angustifolium* отличался сахарокислотный индекс плодов и содержание в них дубильных веществ, у сорта *Northcountry* – лейкоантоцианов, у сорта *Northblue* – собственно антоцианов.

Установлено, что у растений *V. angustifolium* влияние метеорологических факторов на сахарокислотный индекс плодов и содержание в них аскорбиновой и гидроксикоричных кислот, пектиновых и дубильных веществ, катехинов и флавонолов в 1,1–4,7 раза превосходило таковое эдафического фактора, оказывавшего в 1,5–2,1 раза более сильное воздействие на накопление сухих веществ, титруемых кислот, обоих компонентов антоцианового комплекса и общее содержание Р-витаминов при отсутствии различий в этом плане для содержания растворимых сахаров. У межвидовых гибридов голубики выявлено выраженное сходство в приоритетном значении каждого из обозначенных абиотических факторов на биохимический состав плодов, состоявшее в 1,2–4,1 раза более выраженной зависимости содержания в них сухих и пектиновых веществ, растворимых сахаров, флавонолов, компонентов антоцианового комплекса и общего количества Р-витаминов от гидротермического режима сезона, нежели от состояния минерального фона, влияние которого в 1,1 раза было более значительным лишь для содержания титруемых кислот, катехинов и показателя сахарокислотного индекса.

Список использованных источников

1. Научные основы оптимизации режима минерального питания вересковых при культивировании на вырубивших из промышленной эксплуатации торфяных месторождениях севера Беларуси / Ж. А. Рупасова [и др.]. – Минск : ИВЦ Минфина, 2013. – 56 с.
2. Алещенкова, З. М. Микробные удобрения для стимуляции роста и развития растений / З. М. Алещенкова // Наука и инновации. – 2015. – № 8 (150). – С. 66–67.
3. Микробный препарат АгроМик для стимуляции роста и развития тритикале / Е. А. Соловьева [и др.] // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т микробиологии, Белорус. респ. фонд фундамент. исследований, Белорус. обществ. объединение микробиологов ; под ред. Э. И. Коломиец, А. Г. Лобанка. – Минск : Беларуская навука, 2013. – С. 331–342.
4. Влияние минеральных и микробных удобрений на параметры плодоношения и содержание органических кислот в плодах голубики на выработанном участке торфяного месторождения на севере Беларуси / Ж. А. Рупасова [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2017. – № 4. – С. 100–106.
5. Формирование биохимического состава плодов ягодных растений сем. *Ericaceae* при интродукции в условиях Беларуси / Ж. А. Рупасова [и др.]. – Минск : Беларуская навука, 2011. – 307 с.
6. Методы определения сухих веществ: ГОСТ 8756.2-82. – Введ. 01.01.1983. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.
7. Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л., 1987. – 430 с.
8. Марсов, Н. Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники : дис. ... канд. фарм. наук : 15.00.02 / Н. Г. Марсов ; Ярослав. гос. мед. акад. – Пермь, 2006. – 227 л.
9. Плешков, Б. П. Практикум по биохимии растений / Б. П. Плешков. – М. : Колос, 1985. – С. 110–112.
10. Swain, T. The phenolic constituents of *Prunus Domenstica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents / T. Swain, W. Hillis // J. Sci. Food Agric. – 1959. – Vol. 10, N 1. – P. 63–68.
11. Скорикова, Ю. Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю. Г. Скорикова, Э. А. Шафтан // Тр. 3-го Всесоюз. семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. – Свердловск, 1968. – С. 451–461.
12. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной / В. Ю. Андреев [и др.] // Фармация. – 2013. – № 3. – С. 19–21.
13. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье // Государственная фармакопея СССР. – М. : Медицина, 1987. – Вып. 1: Общие методы анализа. – С. 286–287.
14. Зайцев, Г. Н. Методика биометрических расчетов / Г. Н. Зайцев // Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М. : Наука, 1973. – 256 с.

References

1. Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Reshetnikov V. N., Lishtvan I. I., Titok V. V., Bobrov V. A. *Nauchnyye osnovy optimizatsii rezhima mineral'nogo pitanija vereskovykh pri kul'tivirovaniu na vybyvshikh iz promyshlennoy ekspluatatsii torfyanikh mestorozhdeniyakh severa Belarusi* [Scientific basis for optimizing the regime of heather mineral nutrition when cultivated in the cutover peatlands of northern Belarus]. Minsk, ITC Ministry of Finance Publ., 2013, 56 p. (in Russian).
2. Aleshchenkova, Z. M. *Mikrobnyye udobreniya dlya stimulyatsii rosta i razvitiya rastenij* [Microbial of fertilizing for stimulation of growth and development of plants]. Nauka i innovatsii = Science and Innovations. 2015, no 8(150), pp. 66–67 (in Russian).
3. Solovyova, A. A., Savchitz T. L., Aleschenkova Z. M., Bushtevich V. N. *Mikrobnyy preparat AgroMik dlya stimulyatsii rosta i razvitiya tritikale* [Microbial AgroMic preparation for stimulation of growth and development of triticale]. Sb. nauch. tr. Instituta mikrobiologii NAN Belarusi Mikrobnyye biotekhnologii: fundamental'nyye i prikladnyye aspekty [Coll. sci. tr Institute of Microbiology of the NAS of Belarus Microbial biotechnologies: fundamental and applied aspects]. 2013, no. 5, pp. 331–342 (in Russian).
4. Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Aleschenkova Z. M., Kolomiets E. I., Bely P. N., Nikolaichuk A. M., Vashkevich M. N., Savosko I. V. *Vliyaniye mineral'nykh i mikrobnnykh udobrenij na parametry plodonosheniya i soderzhanije organiceskikh kislot v plodakh golubiki na vyrabotannom uchastke torfyanogo mestorozhdeniya na severe Belarusi* [Influence of mineral and microbial fertilizers on fruiting parameters and the content of organic acids in the fruits of blueberry on opencast peatland in conditions of the north of Belarus]. Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya = Journal of the Belarusian State University. Ecology, 2017, no. 4, pp. 100–106 (in Russian).
5. Rupasova Zh. A., Reshetnikov V. N., Vasilevskaya T. I., Yakovlev A. P., Pavlovsky N. B. *Formirovaniye biokhimicheskogo sostava plodov yagodnykh rastenij sem. Ericaceae pri introduksii v usloviyakh Belarusi* [The formation of the biochemical composition of the fruit of the berry plants of the family Ericaceae when introducing in Belarus]. Minsk, Publishing House "Belaruskaya Navuka", 2011, 307 p. (in Russian).
6. GOST 8756.2-82. *Metody opredeleniya sukhikh veshchestv* [State Standard 8756.2-82. Methods for determination of dry matter]. Moscow, Standartinform Publ., 1982, 5 p. (in Russian).
7. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rastenij* [Methods of biochemical research of plants]. Pod red. A. I. Yermakova [by ed. A. I. Ermakova]. Leningrad, 1987, 430 p. (in Russian).
8. Marsov N. G. *Fitokhimicheskoye izuchenije i biologicheskaya aktivnost' brusniki, klyukvy i cherniki diss. kand. farm. nauk* [Phytochemical study and biological activity of lingonberries, cranberries and blueberries: Dissertation of the candidate of pharmaceutical sciences]. Perm, 2006, 227 p. (in Russian).
9. Pleshkov, B. P. *Praktikum po biokhimii rastenij* [Workshop on Plant Biochemistry]. Moscow, Kolos, 1985, pp. 110–112 (in Russian).
10. Swain T., Hillis W. The phenolic constituents of *Prunus Domenstica*. 1. The quantitative analysis of phenolic constituents. J. Sci. Food Agric. 1959, vol. 10(1), pp. 63–68.

11. Skorikova, Yu. G., Shaftan E. A. *Metodika opredeleniya antotsianov v plodakh i yagodakh* [Method for Determining Anthocyanins in Fruits and Berries]. *Trudy 3-go Vsesoyuz. seminara po biologicheski aktivnym (lechebnym) veshchestvam plodov i yagod* [Proceedings of the 3rd Workshop on Biologically Active (Medicinal) Substances of Fruits and Berries]. Sverdlovsk, 1968, pp. 451–461 (in Russian).
12. Andreyeva V. Yu., Kalinkina G. I., Kolomiets N. E., Isaikina N. V. *Metodika opredeleniya antotsianov v plodakh aronii chernoplodnoy* [Procedure for determination of anthocyanins in the black chokeberries (*Aronia melanocarpa*)]. *Farmatsiya = Pharmacy*. 2013, no. 3, pp. 19–21 (in Russian).
13. *Opredeleniye soderzhaniya dubil'nykh veshchestv v lekarstvennom rastitel'nom syr'ye* [Determination of the content of tannins in medicinal plant raw materials]. *Gosudarstvennaya farmakopeya SSSR = State Pharmacopoeia of the USSR*. Moscow, Meditsina Publ., 1987. Issue 1: General methods of analysis, pp. 286–287 (in Russian).
14. Zaytsev, G. N. *Metodika biometricheskikh raschetov* [Methods of biometric calculations]. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, Nauka Publ., 1973, 256 p. (in Russian).

Информация об авторах

Рупасова Жанна Александровна – член-корр. НАН Беларуси, д-р биол. наук, проф., зав. лаб. химии растений, ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

Яковлев Александр Паэлович – канд. биол. наук, доцент, зав. лаб. экологической физиологии растений, ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

Решетников Владимир Николаевич – академик, НАН Беларуси, д-р биол. наук, профессор, зав. отделом биохимии растений, ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: V.Reshetnikov@cbg.org.by

Ярошук Андрей Андреевич – мл. науч. сотр., ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: alrikdorey@mail.ru

Коломиец Эмилия Ивановна – член-корр. НАН Беларуси, д-р биол. наук, директор Ин-та микробиологии НАН Беларуси и Генеральный директор ГНПО «Химический синтез», зав. лаб. средств биологич. контроля (ул. Акад. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Беларусь). E-mail: kolomiets@mbio.bas-net.by

Алещенкова Зинаида Михайловна – д-р биол. наук, гл. науч. сотр., Ин-т микробиологии НАН Беларуси (ул. Акад. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Беларусь). E-mail: aleschenkova@mbio.bas-net.by

Лиштван Иван Иванович – академик, д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Карбанович Татьяна Михайловна – заместитель начальника Главного управления растениеводства Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь (ул. Кирова, 15, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: veget@mshp.gov.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, State Scientific Institution “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, State Scientific Institution “Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus” (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

Vladimir N. Reshetnikov – Academician, D.Sc. (Biology), Professor, Head Department of Plant Biochemistry, State Scientific Institution “Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus” (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: V.Reshetnikov@cbg.org.by

Andrey A. Yaroshuk – Junior Researcher, State Scientific Institution “Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus” (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: alrikdorey@mail.ru

Emiliya I. Kolomiets – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, D.Sc. (Biology), Director of the Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus and General Director of the Scientific and Production Association “Chemical Synthesis”, Head Lab means of biological control (2, Str. Acad. Kuprevich, 220141, Minsk, Belarus). E-mail: kolomiets@mbio.bas-net.by

Zinaida M. Aleshchenkova – D.Sc. (Biology), Chief Researcher, Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Kuprevich Str. 220141, Minsk, Belarus). E-mail: aleschenkova@mbio.bas-net.by

Ivan I. Lishivan – Academician, D.Cs. (Technical), Professor, Chief Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Tatiana M. Karbanovich – Deputy Head of the Main Plant Industry Directorate of the Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, (15, Kirova Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: veget@mshp.gov.by

РЕГУЛИРОВАНИЕ ОБРАЩЕНИЯ С ПОЛИБРОМДИФЕНИЛОВЫМИ ЭФИРАМИ В БЕЛАРУСИ И ДРУГИХ СТРАНАХ

Т. И. Кухарчик, В. Д. Чернюк, М. И. Козыренко

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье обсуждаются подходы к регулированию обращения с полибромдифениловыми эфирами (ПБДЭ) которые относятся к стойким органическим загрязнителям (СОЗ) на национальном и региональном уровнях. Рассматриваются три группы ПБДЭ, которые включены в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ: гексабромдифениловый эфир и гептабромдифениловый эфир, содержащиеся в коммерческом октабромдифениловом эфире, тетрабромдифениловый эфир и пентабромдифениловый эфир, содержащиеся в коммерческом пентабромдифениловом эфире, и декабромдифениловый эфир. Кратко охарактеризованы необходимые меры по обращению с ПБДЭ в соответствии с международными обязательствами. Приведены примеры введения ограничений содержания ПБДЭ в готовых изделиях и отходах, принятые в странах ЕС, Норвегии, Швейцарии, Канаде, США и других странах. Показаны требования к обращению с отходами электронного и электротехнического оборудования, содержащими ПБДЭ. Приведены результаты оценки ситуации с ПБДЭ в Беларусь и необходимые меры для предотвращения распространения опасных веществ в окружающей среде и выполнения обязательств по Стокгольмской конвенции о СОЗ.

Ключевые слова: полибромдифениловые эфиры; стойкие органические загрязнители; полимерные материалы; отходы пластика.

Для цитирования. Кухарчик Т. И., Чернюк В. Д., Козыренко М. И. Регулирование обращения с полибромдифениловыми эфирами в Беларуси и других странах // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 121–133.

APPROACHES TO POLYBROMODIPHENYL ETHERS REGULATION IN BELARUS AND IN OTHER COUNTRIES

T. I. Kukharchyk, V. D. Chernyuk, M. I. Kazyrenko

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

Abstract. In the article the approaches to regulating polybromodiphenyl ethers (PBDEs) which are belong to persistent organic pollutants (POPs) are discussed. Three groups of PBDEs included in the Stockholm Convention on POPs are considered: hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether contained in commercial octabromodiphenyl ether, tetrabromodiphenyl ether, and pentabromodiphenyl ether contained in commercial pentabromodiphenyl ether, and decabromodiphenyl ether. The necessary control measures on PBDEs in accordance with international obligations are briefly described. The examples of restrictions on the content of PBDEs in consumer products/articles and wastes adopted in the EU, Norway, Switzerland, Canada, the USA and other countries are given. The requirements for waste management of electronic and electrical equipment containing PBDEs are shown. The results of the assessment of the situation with PBDE in Belarus and the necessary measures to prevent the spread of hazardous substances in the environment and fulfillment of the obligations under the Stockholm Convention on POPs are presented.

Key words: polybromodiphenyl ethers; persistent organic pollutants; polymeric materials; plastic waste.

For citation. Kukharchyk T. I., Chernyuk V. D., Kazyrenko M. I. Approaches to polybromodiphenyl ethers regulation in Belarus and in other countries. *Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 121–133.

Введение. Полибромированные дифениловые эфиры (ПБДЭ) представляют собой большую группу ароматических бромогорганических химических веществ, структурно схожих с полихлорированными бифенилами (ПХБ) и состоящих из 209 индивидуальных изомеров. ПБДЭ были синтезированы для использования в качестве антиприренов при производстве полимерных материалов, а также для обработки текстильных и других изделий. Коммерческое значение получили три группы соединений: коммерческий октабромдифениловый эфир (к-октаБДЭ), коммерческий пентабромдифениловый эфир (к-пентаБДЭ) и коммерческий декабромдифениловый эфир (к-декаБДЭ).

ПБДЭ по своим свойствам, поведению в окружающей среде и негативному воздействию на здоровье человека относятся к стойким органическим загрязнителям. Как и многие другие СОЗ, ПБДЭ в настоящее время обнаруживаются в атмосферном воздухе, донных отложениях, почве, водах, биотических компонентах [1]. К настоящему времени выявлены связи между воздействием ПБДЭ и изме-

нением концентрации гормонов щитовидной железы [2], снижением fertильности у взрослых [3]. Особую опасность ПБДЭ представляют для новорожденных, что связано с высокой липофильностью данных соединений, их способностью проникновения в плаценту и воздействием на умственное и физическое развитие [4–7].

Осознание опасности ПБДЭ привело к необходимости регулирования данных соединений на международном уровне и их включению в Стокгольмскую конвенцию. Гексабромдифениловый эфир и гептабромдифениловый эфир, содержащиеся в к-октаБДЭ, а также тетрабромдифениловый эфир и пентабромдифениловый эфир, содержащиеся в к-пентаБДЭ были включены в Конвенцию в 2009 г., декабромдифениловый эфир, содержащийся в к-декаБДЭ, – в 2017 г. Согласно Конвенции, все запасы ПБДЭ в составе отходов должны быть выявлены и удалены экологически безопасным способом. Предусмотрены конкретные исключения в отношении рециркуляции изделий, которые содержат или могут содержать пента- и октаБДЭ, а также в отношении производства и использования декаБДЭ. Вторичная переработка полимерных изделий, содержащих декаБДЭ, запрещена.

Выполнение обязательств, принятых по Стокгольмской конвенции о СОЗ, и предотвращение поступления ПБДЭ в окружающую среду и их рассеяние – сложная задача, предполагающая наличие нормативной законодательной базы, механизмов регулирования и контроля обращения с данными соединениями, необходимой институциональной и химико-аналитической базы, а также технологических возможностей для экологически безопасного удаления отходов. Проблема регулирования обращения с ПБДЭ связана, с одной стороны, с огромными объемами производства антиприренов на их основе и с широкой сферой их применения (вычислительное оборудование, бытовая техника, обшивка автомобилей и мебели, электронные компоненты транспортных средств и пр.), а с другой – с возможностью рециркуляции ПБДЭ в полимерных материалах, поступающих на вторичную переработку, и многократным рассеянием в новых изделиях [8, 9]. Кроме того, без строгой регламентации продукты, содержащие ПБДЭ, могут сжигаться или поступать на полигоны, тем самым увеличивая риск их рассеяния и включения в биологические цепи.

В мировом масштабе около 79 % объемов пластика оказываются на полигонах хранения отходов или рассеиваются в окружающей среде, на переработку поступает только около 9 % [10]. В индустриально развитых странах большая доля отходов пластика используется для получения энергии (в Европе – 39,5 %) [11]. В то же время неконтролируемое сжигание отходов бромсодержащего пластика может вести к выбросам опасных веществ, в том числе бромированных и хлорированных дибензодиоксинов и дибензофuranов [12].

В настоящее время СОЗ регистрируются в игрушках, содержащих переработанный пластик [13, 14], таким образом, воздействию ПБДЭ могут подвергаться дети [15, 16]. На наличие повышенных концентраций ПБДЭ (октаБДЭ, декаБДЭ) и других СОЗ (короткоцепных хлорированных парафинов) в детских игрушках указывают результаты исследований организации IPEN в 2017 г. (были исследованы товары в различных магазинах в 26 странах мира). Концентрации некоторых веществ более чем в 5 раз превосходили рекомендованные международные предельные уровни.

В многих странах первые шаги по регулированию обращения с ПБДЭ были предприняты в начале 2000-х годов, и за прошедшее время накоплен значительный опыт нормирования содержания ПБДЭ в готовых изделиях, обращения с загрязненными отходами и др. Цель данной статьи – анализ опыта регулирования обращения с ПБДЭ в зарубежных странах для определения приоритетных действий в Беларусь.

Общие сведения о ПБДЭ и путях поступления в окружающую среду. Поступление ПБДЭ в окружающую среду возможно с разными техногенными потоками, в том числе с выбросами в атмосферу при их производстве, при использовании в производственном процессе, с отходами производства и потребления, сточными водами, с готовой продукцией после утраты потребительских свойств, при вторичной переработке полимерных материалов.

Как указано выше, на основе ПБДЭ производили три вида коммерческих продуктов: коммерческий октабромдифениловый эфир (к-октаБДЭ), коммерческий пентабромдифениловый эфир (к-пентаБДЭ) и коммерческий декабромдифениловый эфир (к-декаБДЭ). Указанные промышленные химикаты существенно различаются составом (см. таблицу); доминирующие индивидуальные соединения и группы гомологов используются для индикации исходных коммерческих смесей при производстве продукции.

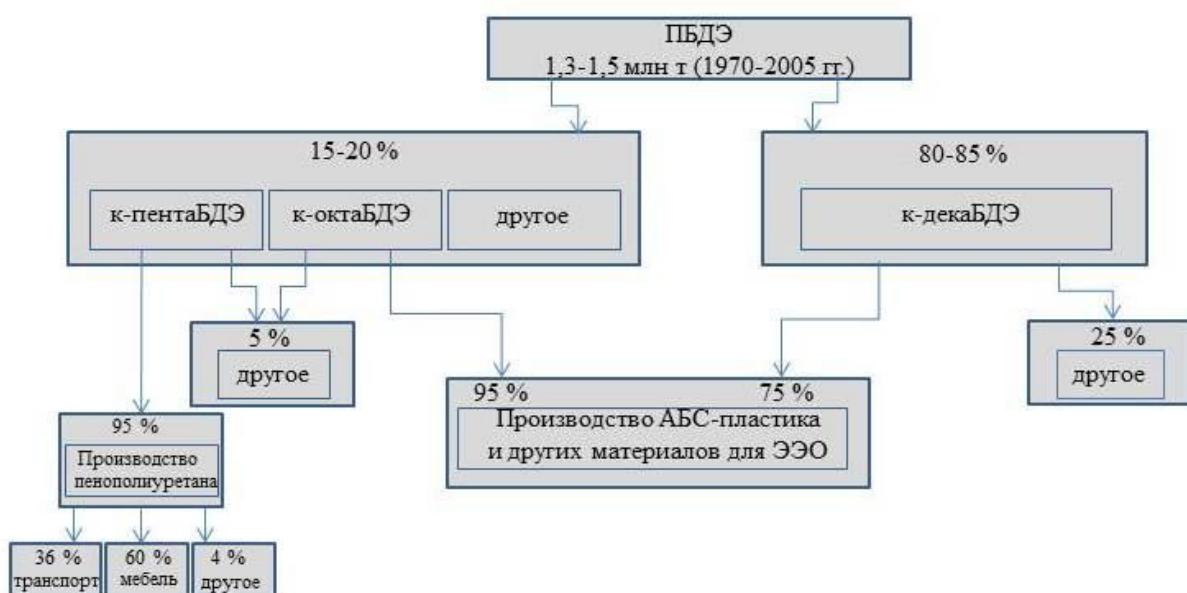
Объемы производства ПБДЭ за период с 1970 по 2005 г. в глобальном масштабе оцениваются в 1,3–1,5 млн т, из которых около 80–85 % приходится на долю декаБДЭ. Основная сфера использования к-пентаБДЭ – производство пенополиуретана для нужд автомобилестроения, производства мебели и других, к-октаБДЭ и к-декаБДЭ – производство АБС-пластика и иных материалов, используемых в электрическом и электронном оборудовании (ЭЭО) (см. рисунок).

Следует отметить, что если производство к-октаБДЭ и к-пентаБДЭ было прекращено примерно в 2005 г., то производство декаБДЭ в ряде стран продолжается до сих пор. Например, в Китае производство к-декаБДЭ было начато в 1982 г.; в 2013 г. его производительность составляла 49 тыс. т в год [19]. Общий же масштаб производства декаБДЭ пока неизвестен, однако очевидно, что суммарные объемы ПБДЭ будут выше по сравнению с данным на 2005 г.

Типичный состав коммерческих смесей ПБДЭ [17]

Typical composition of PBDE commercial mixtures [17]

Коммерческая смесь	Группа конгнегеров ПБДЭ и концентрация активного ингредиента, %						
	тетрабДЭ	пентаБДЭ	гексабДЭ	гептабДЭ	октабДЭ	нонаБДЭ	декабДЭ
	БДЭ-47 и т.д.	БДЭ-99 и т.д.	БДЭ-153, БДЭ-154 и т. д.	БДЭ-175, БДЭ-183 и т. д.	БДЭ-203, БДЭ-204 и т. д.	БДЭ-207, БДЭ-208	БДЭ-209
к-пентаБДЭ	24–38	50–62	4–12	Следы	—	—	—
к-октабДЭ	—	0,5	12	45	33	10	0,7
к-декабДЭ	—	—	—	—	Следы	0,3–3,0	97–98



Global scheme of production and use PBDE (according to [18])

При первичном производстве полимерных материалов концентрация бромированных антиприренов колеблется от 10 до 15 %, достигая в ряде случаев 20 % [20]. Выполненные к настоящему времени исследования в разных странах свидетельствуют о значительной вариабельности содержания ПБДЭ в готовых изделиях (от миллиграммов до граммов на килограмм массы пластика), что обусловлено вторичной переработкой отходов и возможностью циркуляции опасных веществ [21]. В перечень изделий, которые с наибольшей вероятностью содержат ПБДЭ, попадают телевизоры и мониторы с электронно-лучевыми трубками. Однако считается, что практически любые электробытовые приборы, офисная и канцелярская техника могут содержать полимерные изделия, изготовленные с использованием ПБДЭ.

Поскольку антиприрены на основе ПБДЭ химически не связаны с полимерной матрицей (пластмассой, пенополиуретаном), тканями и другими материалами, к которым их добавляют, они выделяются из готовых изделий и отходов и поступают в окружающую среду. Выполненные к настоящему времени исследования подтверждают предположение об эмиссии ПБДЭ с поверхности готовых изделий: в составе пыли, отобранной в жилых домах и офисных помещениях в США, Канаде, Австралии, Новой Зеландии, Великобритании, Кувейте и других странах были зафиксированы ПБДЭ в высоких концентрациях [22–26]. По данным [27], возможно выщелачивание ПБДЭ из полимерных материалов.

Существенным источником поступления ПБДЭ в окружающую среду являются отходы, образующиеся по окончании срока службы электронного и электротехнического оборудования (ЭЭО), бытовых приборов, автомобилей, текстильных изделий, при производстве которых применялись полимерные материалы и/или ткани, содержащие ПБДЭ. Поэтому значительные усилия в разных странах направлены на регулирование отходов, прежде всего отходов электронного и электротехнического оборудования [9, 18, 28, 29].

Международные конвенции по регулированию обращения с ПБДЭ. Впервые обеспокоенность относительно ПБДЭ была высказана в 1986 г., когда Немецкий союз химической промышленности добровольно согласился прекратить их применение в связи с опасениями, связанными с потенциальными выбросами бромированных диоксинов/фuranов при неполном сгорании [30]. В 1989 г. Шведский химический регулятор KEMI созвал международную конференцию по бромированным антиприренам, первую из серии инициатив, запущенных в скандинавских странах.

В 1992 г. в рамках плана действий в соответствии с Конвенцией о защите морской среды Северо-Восточной Атлантики (Конвенция ОСПАР) бромированным антиприренам также былоделено особое внимание. В 1998 г. к-окта, к-пента и к-декабДЭ были включены в список «химических веществ, требующих безотлагательных действий», а также в совместную программу оценки и мониторинга ОСПАР. В результате ОСПАР содействовала введению ограничительных мер по ПБДЭ в странах ЕС, а также развитию стратегий по снижению риска от окта- и декабДЭ, законодательства по отходам.

В настоящее время наиболее важным международным соглашением в отношении регулирования ПБДЭ на глобальном уровне является Стокгольмская конвенция о СОЗ, которая регламентирует производство химических веществ, их использование, а также обращение с отходами.

Гексабромдифениловый эфир и гептабромдифениловый эфир (коммерческий октабромдифениловый эфир) и тетрабромдифениловый эфир и пентабромдифениловый эфир (коммерческий пентабромдифениловый эфир) включены в Приложение А с конкретными исключениями. Производство указанных соединений запрещено. Сторона может разрешить рециркуляцию изделий, которые содержат или могут содержать указанные эфиры, и применение и окончательное удаление таких изделий при условии, что рециркуляция и окончательное удаление осуществляются экологически обоснованным образом и не ведут к восстановлению данных соединений для целей их повторного использования. Кроме того, Сторона предпринимает шаги для предотвращения экспорта таких изделий, содержащих уровни/концентрации к-октабДЭ и к-пентабДЭ, превышающие те, которые разрешены для продажи, применения, импорта или производства этих изделий на территории этой Стороны.

На шестом очередном совещании, а затем на каждом втором очередном совещании Конференция Сторон оценивает прогресс, достигнутый Сторонами по реализации своей конечной цели по ликвидации к-октабДЭ и к-пентабДЭ, содержащихся в изделиях, и рассматривает сохраняющуюся необходимость в этом конкретном исключении. Срок действия настоящего конкретного исключения в любом случае истекает не позднее 2030 г.

Декабромдифениловый эфир, согласно решению SC-8/10, включен в приложение А Конвенции с конкретными исключениями для его производства и использования, в том числе для запасных частей транспортных средств, летательных аппаратов, текстильных изделий, за исключением одежды и игрушек, в качестве добавки в пластмассовых корпусах и деталях, используемых для бытовых обогревательных приборов, утюгов, вентиляторов и др. [31]. Срок действия конкретных исключений, например, для запасных частей транспортных средств истекает в конце срока службы транспортных средств или в 2036 г., летательных аппаратов, сертификат для которых был получен до декабря 2022 г., – в конце срока службы этих летательных аппаратов. Это означает, что производство декабДЭ будет продолжаться для указанных исключений, соответственно, неизбежно распространение данного вещества с готовыми изделиями.

Согласно Конвенции, все запасы к-декабДЭ в составе отходов должны быть выявлены и удалены экологически безопасным способом. Вторичная переработка полимерных изделий, содержащих к-декабДЭ, запрещена. В этой связи вопросы обращения с отходами, содержащими или потенциально содержащими к-декабДЭ, как и другие ПБДЭ, являются важнейшей сферой регулирования в связи с обязательствами по Стокгольмской конвенции о СОЗ.

Регулирование ПБДЭ в готовых изделиях/продукции. В Европе для регулирования обращения с полибромдифениловыми эфирами (ПБДЭ) разработано и принято несколько Директив, касающихся содержания ПБДЭ в готовых изделиях/продукции, прежде всего в электронном и электротехническом оборудовании (ЭЭО).

Директивой 2003/11/ЕС Европейского парламента и Совета от 6 февраля 2003 г. были внесены поправки в Директиву Совета 76/769/EEC, которые касались двух групп ПБДЭ: пентабромдифенилового эфира и октабромдифенилового эфира. Согласно данной Директиве, в странах ЕС с 2004 г. запрещена торговля и использование пента- и октабромдифениловых эфиров в концентрациях выше 0,1 мас.%, либо изделий, содержащих указанные соединения, в концентрации более 0,1 мас.% [32].

Директива 2002/95/ЕС Европейского Парламента и Совета от 27 января 2003 г. направлена на ограничение использования некоторых опасных веществ в электрическом и электронном оборудовании; она известна как Директива RoHS (Restriction of Hazardous Substances Directive) [33]. Данная Директива ограничивает использование шести веществ в новом электрическом и электронном оборудовании после 1 июля 2006 г. Перечень регулируемых веществ включает свинец, кадмий, ртуть, ше-

стивалентный хром, полибромированные дифенилы и полибромированные дифенилэфиры, используемые в качестве трудновоспламеняемых компонентов электроники. Так, в статье 4 Директивы 2002/95/ЕС предусмотрено, что с июля 2006 г. при производстве электрических и электронных приборов не могут использоваться полибромированные дифенилы. При размещении на рынке максимальные концентрации не должны превышать 0,1% ПБД и ПБДЭ от массы материала.

Вместе с тем, 13 октября 2005 г. Комиссией принятая поправка к Директиве 2002/95/ЕС, касающаяся исключений в отношении применения декабромдифенилового эфира в пластике [34]. Данное исключение было отменено с июля 2008 г., согласно решению Европейского Суда [35]. Исключение оставалось в силе только в отношении медицинского оборудования, которое было отменено в 2011 г. и вступило в силу в 2014 г.

В 2011 г. 21 июля в силу вступила Директива 2011/65/EC RoHS, которая заменила Директиву 2002/95/ЕС. Директива 2011/65/EC RoHS также касается ограничения использования отдельных опасных веществ в электрическом и электронном оборудовании [36]. В сравнении с предыдущей версией новая директива RoHS расширила сферу влияния в части охватываемой продукции, а также ввела новые обязательства и требования для производителей ЭЭО, импортеров и дистрибутеров. В перечне продукции, которая подпадает под регулирование, включены следующие виды (Перечень приведен в Приложении I Директивы): крупногабаритная бытовая техника; малая бытовая техника; ИТ и телекоммуникационное оборудование; бытовая техника; осветительное оборудование; электрические и электронные инструменты; игрушки, досуг и спортивное оборудование, медицинское оборудование, приборы контроля и управления, включая промышленные контрольно-измерительные приборы, автоматические диспенсеры, другое ЭЭО, которое не охватывается ни одной из вышеперечисленных категорий.

В ст. 4 Директивы подчеркивается, что Государства-члены должны обеспечить, чтобы ЭЭО, размещенное на рынке, включая кабели и запасные части для их ремонта, повторного использования, обновления их функциональных возможностей, не содержало веществ, перечисленные в Приложении II Директивы, в том числе в концентрации более 0,1 % для ПБД и 0,1 % для ПБДЭ. Также содержится указание на исключение для ряда видов ЭЭО, включая ЭЭО, размещенное на рынке до 1 июля 2006 г., медицинские устройства, размещенные на рынке до 22 июля 2014 г., и некоторое другое.

Основным обязательством для производителей стала подготовка декларации ЕС о соответствии требованиям Директивы. Только при наличии указанного соответствия производитель имеет право нанести маркировку «CE» на свою продукцию. Согласно Директиве, производители должны сохранять техническую документацию и декларацию соответствия ЕС в течение 10 лет после размещения ЭЭО на рынке. В электрическом и электронном оборудовании содержание ПБДЭ не должно превышать 0,1 вес.% однородного материала. Производители должны сохранять реестр несоответствующего ЭЭО и отзыванной продукции и информировать об этом дистрибуторов.

В 2017 г. принят Регламент (ЕС) 2017/227 о включении ограничений, запрещающих декаБДЭ, касающийся регистрации, оценки, мер и ограничения декабромдифенилового эфира как химического вещества, регулируемого в рамках REACH (Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals) [37]. Согласно Регламенту, принятые следующие запреты и ограничения в отношении производства и использования декаБДЭ:

- не должен производиться или продаваться в чистом виде после 2 марта 2019 г.;
- не должен использоваться в производстве или продаваться в составе другого вещества, смеси, изделия или любой его части в концентрации, равной или превышающей 0,1 мас.%, после 2 марта 2019 г.

Данным Регламентом определены также исключения для секторов гражданской и военной авиации, для которых предложена возможность использования декаБДЭ для производства воздушных судов, гражданских или военных, до 10 лет после вступления в силу Регламента, поскольку это должно дать отрасли достаточное время для адаптации. Исключения также должны предоставляться в отношении производства и продажи запасных частей для всех воздушных судов, гражданских или военных, производимых до истечения этого периода. Исключения также приняты для производства и размещения на рынке запасных частей для транспортных средств и машин, произведенных до 2 марта 2019 г.

Следует подчеркнуть, что указанное в Директивах значение 0,1 мас.% вещества относится к изделиям, полностью или частично изготовленных из вторичных материалов (т. е. переработанного пластика). Для изделий, изготовленных из первичного пластика, принятые значения 0,001 % (10 мг/кг) индивидуально для каждой группы регулируемых конвенцией веществ (тетра-, пента-, гекса- и гептабДЭ). Такие же значения установлены для Швейцарии, согласно постановлению по сокращению рисков химических веществ (Chemical Risk Reduction Ordinance), принятому в 2005 г. Постановление

запрещает продвижение на рынок новых товаров, если в них есть детали, обработанные огнестойкими составами, содержащими более 0,1 % указанных соединений.

В целом, Директивы ЕС нашли отражение в других национальных законодательных актах ряда европейских стран. Например, в Норвегии применение к-октаБДЭ и к-пентаБДЭ запрещено с июля 2004 г. С 1 января 2004 г. изделия, содержащие более 0,25% к-октаБДЭ, относятся к категории опасных отходов [38]. Ограничения по декаБДЭ в Норвегии вступили в силу с 01.04.2008 г. (запрещены использование, импорт, экспорт, продажа, изготовление и использование к-декаБДЭ в концентрациях более 0,1 % в веществах или изделиях) с исключениями для отдельных транспортных средств.

В Канаде полибромдифениловые эфиры включены в Перечень токсичных веществ [39]. На них распространяется запрет, касающийся изготовления, использования, продажи, выставления на продажу и импорта. В 2008 г. опубликован окончательный вариант норм регулирования ПБДЭ. Эти нормы запрещают производство семи ПБДЭ (тетра-, пента-, гекса-, гепта-, окта-, нона- и декаБДЭ), а также применение, продажу, выставление на продажу и импорт тетра-, пента- и гексабДЭ, смесей, полимеров и смол, содержащих эти вещества. В дополнение к нормам регулирования ПБДЭ в Канаде проводится работа с другими мерами регулирования рисков, в том числе: по содержанию ПБДЭ в отечественных и импортных готовых изделиях; по разработке стратегии регулирования продуктов, содержащих ПБДЭ, в конце срока эксплуатации и др.

В США этап добровольного свертывания производства к-октаБДЭ начался 1 января 2005 г. после вступления в силу закона «О контроле над токсичными веществами» [38]. Одннадцать штатов в США ввели законы, запрещающие или строго ограничивающие производство и использование октаБДЭ и пентаБДЭ; в ряде штатов запрещены производство, переработка и распространение продуктов, содержащих более 0,1 % от пента- и октаБДЭ. Штат Вашингтон запретил использование пента-, окта- и декаБДЭ при производстве матрасов [40]. В 2006 г. вступило в действие так называемое «Важное новое правило использования» («Significant New Use Rule» (SNUR) по отказу от пента- и октаБДЭ, согласно которому после 1 января 2005 г. запрещалось производство и импорт вышеуказанных веществ без 90-дневного уведомления об этом АООС США для проведения оценки. В результате добровольного отказа был прекращен выпуск пента- и октаБДЭ единственным стране производителем данных химикатов – компанией Great Lakes Chemical Corporation (ныне корпорация Chemtura).

20 марта 2012 г. в рамках реализации Плана действий АООС США на 2010 г. АООС предложило внести поправки в «Важное новое правило использования» (SNUR) для ПБДЭ. Согласно документу, оценке должны быть подвержены любые комбинации шести конгенеров ПБДЭ, содержащихся в пента- или октаБДЭ, при любом типе использования. АООС США инициировало поддержку и поощрение добровольного прекращения производства и импорта к-декаБДЭ и обязало основных производителей и импортеров декаБДЭ инициировать сокращение производства, импорта и продаж к-декаБДЭ с 2010 г. и прекращение всех продаж к 31 декабря 2013 г.

В декабре 2009 г. два производителя и главный импортер декаБДЭ в США заявили о намерении прекратить производство, импорт и продажу химикатов для всех потребителей до конца 2013 г. Однако, АООС США допускает возможность использования декаБДЭ и в настоящее время [41].

Ограничения были также приняты в некоторых странах Азии: Китае, Корее и Индии. В Китае допустимая концентрация ПБДЭ в ЭЭО составляет 0,1 мас. %. Кроме того, при наличии ПБДЭ в ЭЭО (например, сканерах, вакуумных очистителях, видеокамерах, принтерах, факсах и др.) требуется дополнительная маркировка. Отходы, содержащие огнезащитные средства с ПБДЭ, причисляются к опасным со всеми вытекающими требованиями к обращению с ними.

В Корее электротовары и транспортные средства, содержащие ПБДЭ, регулируются с 2008 г.; исключения, допустимые уровни и запрещенные вещества соответствуют принятым в Директиве RoHS ЕС. К-декаБДЭ исключен из перечня опасных веществ при применении в полимерных материалах в соответствии с Правилами утилизации запасов электрооборудования и автомобилей [28]. Кроме того, в соответствии с директивой, касающейся окончания срока службы транспортных средств, запасные части транспортных средств, вышедших из производства, также не подпадают под этот перечень [42].

В Австралии в соответствии со статьей 61 Закона о промышленных химических веществах (уведомление и оценка) 1989 г., импорт и/или производство окта- и декаБДЭ запрещены. Тем не менее возможно использование переработанной пластмассы, содержащей ПБДЭ, при производстве новой электроники [40].

С 2010 г. ввоз к-пентаБДЭ и к-октаБДЭ на территорию Российской Федерации запрещен [43].

Регулирование отходов, содержащих ПБДЭ. В настоящее время в глобальном масштабе вторичной переработке отходов, в том числе полимерных, уделяется значительное внимание. Под эгидой Стокгольмской и Базельской конвенций разработаны международные руководства,

в которых определены требования к процессам сбора, сортировки, сепарации и переработки отходов ЭЭО, содержащих или потенциально содержащих ПБДЭ:

- Руководство по применению наилучших доступных технологий и наилучших видов придоохранной деятельности для рециклинга и окончательного удаления изделий, содержащих полибромдифениловые эфиры, включенные в список Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях [17];
- Технические руководящие принципы экологически обоснованного регулирования отходов, состоящих из гексабромдифенилового эфира и гентабромдифенилового эфира или тетрабромдифенилового эфира, пентабромдифенилового эфира, содержащих их или загрязненных ими [43];
- Общие технические руководящие принципы экологически обоснованного регулирования отходов, состоящих из стойких органических загрязнителей, содержащих их или загрязненных ими. Переосмотренная окончательная версия (15.05.2015) [44].

Согласно [17], переработка и удаление материалов, содержащих ПБДЭ, относящиеся к СОЗ, требуют целостного подхода, учитывая наличие других загрязнителей помимо СОЗ (тяжелых металлов, озоноразрушающих веществ), вероятность их высвобождения/выброса при переработке и удалении, а также факторы риска, сопряженные с подобными выбросами.

Одно из важнейших обязательств, согласно Стокгольмской конвенции в отношении обращения с материалами/отходами, содержащими СОЗ, – скорейшее разделение и удаление отходов, содержащих ПБДЭ, из потока рециркуляции, чтобы избежать их повторного появления в новых изделиях. Запрещается преднамеренное разбавление этих веществ во время процессов рециркуляции, поскольку общее количество СОЗ, выброшенных в окружающую среду, не изменится. Изделия и оборудование, утратившие потребительские свойства, а также физически и морально устаревшие, передаются на специализированные предприятия, где подлежат разборке с целью выделения пластмассовых деталей, содержащих или потенциально содержащих ПБДЭ или другие СОЗ, например, гексабромциклогидроксан (ГБЦД). Необходимо использование экологически безопасных методов утилизации отходов, содержащих ПБДЭ.

В странах ЕС законодательные документы приняты в отношении непосредственного обращения с отходами электронного и электрического оборудования: Директива 2002/96/EC от 27.01.2003 г. об отработавшем электрическом и электронном оборудовании, Директива 2012/19/EU по отходам электрического и электронного оборудования от 4 июля 2012 г. (взамен Директивы 2002/96/EC).

Директива 2002/96/EC принята для регулирования и сведения к минимуму последствий применения уже используемых ПБДЭ-содержащих продуктов, касается отработанного электротехнического и электронного оборудования. Согласно Директиве, страны-участницы несут ответственность за настройку оборудования для сбора, а распространители обязаны бесплатно забирать изношенное оборудование. Производители несут ответственность за восстановление и вторичную переработку своей продукции. Отходы от оборудования должны быть разделены на различные категории для дальнейшего использования, переработки и утилизации.

С 13 августа 2005 г. требовалось введение систем сбора бытовых отходов и принятие обязательств по приему оборудования с истекшим сроком эксплуатации. К 31 декабря 2006 г. нужно было добиться раздельного сбора от частных домашних хозяйств не менее четырех килограммов отработанного электротехнического и электронного оборудования на человека в год.

В 2012 г. взамен вышеуказанной директивы принята Директива 2012/19/EU [45], которая устанавливает требования к раздельной переработке и размещению материалов и компонентов ЭЭО, содержащего в том числе бромированные огнезащитные соединения (без уточнения перечня соединений). Согласно Директиве, пластмассы, содержащие бромированные антиприрены, должны быть удалены из любого отдельно собранного электрического и электронного оборудования.

Информация для идентификации компонентов и материалов должна быть предоставлена производителями, она имеет важное значение для облегчения управления, в частности обработки и утилизации или переработки отходов ЭЭО.

В Директиве не прописаны меры по отдельным химическим веществам. Приведен пример маркировки ЭЭО, указывающий на раздельный сбор отработавшего оборудования. Данная маркировка должна быть наглядной, разборчивой и не смываться.

К настоящему времени накоплен опыт обращения с отходами ЭЭО и другими отходами, содержащими ПБДЭ, во многих европейских странах, в том числе Швейцарии, Нидерландах, Швеции, Дании и др. [46]. Например, в Дании пластик, содержащий к-декабДЭ и другие бромированные антиприрены, должен отправляться на предприятия, уполномоченные осуществлять переработку отходов, содержащих бром, в соответствии с параграфом 33 Акта по охране окружающей среды. Пластик с содержанием брома < 5 мг/кг может быть отправлен на переработку (для вторичного использования) [29]. В Австрии в соответствии с положениями директивы ЕС и Постановлением национального зако-

нодательства, пластиковые отходы, содержащие бромированные антиприены, должны быть раздelenы и подлежат надлежащей переработке. Смешивание таких отходов с другими отходами пластмасс с целью уменьшения содержания загрязняющих веществ запрещено [47].

Обращение с ПБДЭ в Беларуси. В Беларуси коммерческие продукты на основе ПБДЭ никогда не производили и не производят. Однако пента- и декабДЭ импортировали в страну. Кроме того, поступление ПБДЭ осуществляли (и осуществляют) с полуфабрикатами (АБС-пластиком, ударопрочным полистиролом, другими видами полимерных материалов), а также с готовыми товарами (телефонами, мониторами, принтерами, сканерами, стиральными машинами, другим оборудованием), хотя измерения содержания ПБДЭ в полимерных материалах пока отсутствуют. Таким образом, в Беларуси, как и в других странах, может находиться большое количество изделий, содержащих ПБДЭ, подлежащих регулированию после истечения срока эксплуатации.

Согласно [48], пластик, содержащий бромированные антиприены, составляет около 5,5 % от массы всех отходов ЭЭО, или 25 % от всего пластика, используемого в ЭЭО. Это означает, что в Беларуси ежегодное образование полимерных отходов, потенциально содержащих ПБДЭ, может составлять около 2,6 тыс. т.

Первым документом, ограничивающим применение ПБДЭ в полимерных материалах на территории Беларуси, явился Технический регламент Евразийского экономического союза «Об ограничении применения опасных веществ в изделиях электротехники и радиотехники» [49]. Согласно ТР ЕАЭС 037/2016, с 1 марта 2018 г. содержание полибромированных дифенилов в изделиях электротехники и радиоэлектроники не должно превышать 0,1 мас.% однородного вещества. В данном регламенте приведен перечень изделий, на которые распространяется действие регламента. В документе имеется список оборудования, на которое не распространяется действие данного регламента: например, игрушки электрические, электрооборудование, предназначенное для различных транспортных средств и др.

Поскольку Технический регламент касается только электротехники и радиоэлектроники, то содержание ПБДЭ в других изделиях из полимерных материалов, в том числе в детских игрушках, пластмассовой посуде, садовом инвентаре и других изделиях не регламентируется.

Что касается отходов, потенциально содержащих ПБДЭ, то обращение с ними, как и в странах СНГ, не регулируется. Как известно, с 1 августа 2012 г. вступил в силу Указ Президента Республики Беларусь от 11.07.2012 № 313 «О некоторых вопросах обращения с отходами потребления», устанавливающий так называемую расширенную ответственность производителя. В перечень товаров, производители и поставщики которых обязаны обеспечивать сбор, обезвреживание и (или) использование отходов, образующихся после утраты потребительских свойств этих товаров, входят принтеры, копировальные аппараты и факсимильные аппараты; вычислительные машины и их блоки; мониторы и проекторы и др. Однако конкретные элементы обращения с отходами потребления (раздельный сбор пластика или др.) данный документ не регламентирует.

Выполненные исследования показали, что система заготовки отходов АБС-пластика и других полимерных отходов в Беларуси находится в стадии становления и развития. Из большого перечня предприятий по переработке полимерных отходов, имеющих лицензии, основная их часть ориентирована на сбор и переработку полистирилена и ПЭТ-бутылок. Основное количество устаревшей бытовой техники и электронного оборудования собирается ОАО «БелВТИ». Установлено, что технологический процесс вторичной переработки на ОАО «БелВТИ» и УП «Унидрагмет», КПУП «Брестский мусороперерабатывающий завод» и других, судя по имеющейся информации, ограничивается разборкой техники, выделением стекла, металла, пластика; в отношении пластика осуществляется сортировка по видам и цвету, прессование или упаковка. Вместе с тем на предприятиях, имеющих лицензии, разрешено производство продукции из отходов АБС-пластика, которые представляют собой полуфабрикат, поступающий на вторичное использование. Пластик отработанного ЭЭО не сортируется и не разделяется на бромсодержащий и на несодержащий бром. Измерений брома как индикатора присутствия бромсодержащих антиприленов, в том числе ПБДЭ, не производится. Это означает потенциальное перераспределение ПБДЭ в новые виды продукции, а также их поступление в окружающую среду.

До недавнего времени в Беларуси регулирование обращения с устаревшим электронным и электротехническим оборудованием (ЭЭО) не осуществлялось. Сбор отходов ЭЭО начат в Беларусь с 2013 г. Всего в стране за 2017 г. было собрано более 6 тыс. т отходов ЭЭО [50].

Заключение. Для выполнения обязательств по Стокгольмской конвенции о СОЗ и минимизации негативных последствий в отношении ПБДЭ необходимо совершенствование национального законодательства. С учетом опыта зарубежных стран представляется целесообразным введение запрета на экспорт/импорт и использование ПБДЭ (комерческих продуктов). Кроме того, необходимо ввести запрет на вторичную переработку полимерных изделий, содержащих ПБДЭ, и/или на ограни-

чение использования пластика, содержащего или потенциально содержащего ПБДЭ, например, для производства детских игрушек, упаковки для продуктов питания, хранения воды и др.

В качестве первоочередных задач целесообразными являются: создание национальной системы контроля за переработкой пластика и разработка соответствующих нормативных технических документов; разработка и внедрение технологии скрининга пластика, поступающего на переработку, с целью извлечения содержащегося ПБДЭ; создание химико-аналитической базы определения содержания ПБДЭ в различных субстратах и компонентах природной среды.

Список использованных источников

1. Toxicological Profile for Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs). U.S. Department of health and human services. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 2018 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp207.pdf>. – Date of access: 14.08.2018.
2. Hormone Disruption by PBDEs in Adult Male Sport Fish Consumers / M. E. Turyk [et al.] // Environmental Health Perspectives. – 2008. – № 116. – Pp. 1635–1641.
3. Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Concentrations in House Dust are Related to Hormone Levels in Men / J. D. Meeker [et al.] // The Science of the Total Environment. – 2009. – № 407(10). – Pp. 3425–3429.
4. Prenatal Exposure to PBDEs and Neurodevelopment / J. B. Herbstman [et al.] // Environmental Health Perspectives. – 2010. – № 118(5). – Pp. 712–719.
5. Hydroxylated Polybrominated Diphenyl Ethers in Paired Maternal and Cord Sera / A. Chen [et al.] // Environmental Science Technology. – 2013. – № 47(8). – P. 3902–3908.
6. Association of *In Utero* Persistent Organic Pollutant Exposure With Placental Thyroid Hormones / Z. M. Li [et al.] // Endocrinology. – 2018. – Vol. 159. – Issue 10. – Pp. 3473–3481.
7. Brown, P. Lessons Learned from Flame Retardant Use and Regulation Could Enhance Future Control of Potentially Hazardous Chemicals / P. Brown, A. Cordner // Health affairs. – 2011. – Vol. 30. – № 5. – Pp. 906–914.
8. Occurrence, levels and profiles of brominated flame retardants in daily-use consumer products on the Chinese market / Y. Li [et al] // Environ. Sci.: Processes Impacts. – 2019. – Pp. 446–455.
9. Study to Support the Review of Waste Related Issues in Annexes IV and V of Regulation (EC) 850/2004. Final Report / A. Potrykus [et al.] // European Commission. Contract Number: No 07.0201/2017/767748/Etu/Env.B.3. – 2019. – 392 p.
10. Geyer, R. Production, use, and fate of all plastics ever made / R. Geyer, J. R. Jambeck, K. Lavender // Science Advances, Vol. 3, № 7. 2017 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.researchgate.net/publication/318567844_Production_use_and_fate_of_all_plastics_ever_made. – Date of access: 16.10.2017.
11. PlasticsEurope. Plastics – The Facts 2016. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. Plastics Europe. Brussels. Plastics Europe. Brussels. 2016 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.plasticseurope.org/application/files/4315/1310/4805/plastic-the-fact-2016.pdf> – Date of access: 20.08.2018.
12. Weber, R. Relevance of BFRs and thermal conditions on the formation pathways of brominated and brominated-chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans / R. Weber, B. Kuch // Environment International. – 2003. – Vol. 29. – Issue 6. – Pp. 699–710.
13. Downsides of the Recycling Process: Harmful Organic Chemicals in Children's Toys / A. C. Ionas [et al.] // Environment international. – 2014. – № 65. – Pp. 54–62.
14. UNEP. Draft technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with short-chain chlorinated paraffins. UNEP/CHW/OEWG.11/INF/10. 2018 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW-OEWG.11-10.Russian.pdf>. – Date of access: 12.09.2018.
15. Children's exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) through mouthing toys / A. C. Ionas [et al.] // Environ Int. – 2016. – № 87. – P. 101–107.
16. Brominated flame retardants in children's toys: concentration, composition, and children's exposure and risk assessment / S. J. Chen [et al.] // Environmental Science Technology. – 2009. – № 43 (11). – Pp. 4200–4206.
17. Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether, or tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether or decabromodiphenyl ether. Addendum. Conference of the Parties to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal. Fourteenth meeting. UNEP/CHW.14/7/Add.3. 2019 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.brsmeas.org/2019COPs/MeetingDocuments/tabid/7832/language/en-US/Default.aspx>. – Date of access: 10.02.2019.
18. Guidance on best available techniques and best environmental practices for the recycling and wastes disposal of articles containing polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Updated 2017. UNEP, Stockholm convention. – 2017. – 114 p.
19. Emission inventory and environmental distribution of decabromodiphenyl ether in China / B. Zhang [et al.] // Sci. Total Environ. – 2017. – № 1(599–600). – Pp. 1073–1081.
20. Analysis of the information received by the Basel Convention related to c-decaBDE as called for in decision BC-12/3. Meeting of the Small Intersessional Working Group (SIWG) on Persistent Organic Pollutants (POPs). BIPRO. 2017 [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW-CLI_SIWG.2-REL-PRESEN-BIPRO-decaBDEwaste.English.pdf. – Date of access: 12.05.2017.

21. Strååt, M. Decabromodiphenyl ether and other flame retardants in plastic waste destined for recycling / M. Strååt, C. Nilsson // Swerea IVF. Project Report. M-973. – 2018. – 29 p.
22. Stapleton, H. M. Polybrominated diphenyl ethers in house dust and clothes dryer lint / H. M. Stapleton [et al.] // Environmental Science and Technology. – 2005. – № 39(4). – Pp. 925–931.
23. Harrad, S. Polybrominated diphenyl ethers in domestic indoor dust from Canada, New Zealand, United Kingdom and United States / S. Harrad [et al.] // Environment International. – 2008. – Vol. 34. – Issue 2. – P. 232–238.
24. Transfer of Brominated Flame Retardants from Components into Dust inside Television Cabinets / H. Takigami [et al.] // Chemosphere. – 2008. – № 73 (2). – P. 161–169.
25. Sources, Emissions, and Fate of Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls Indoors in Toronto, Canada / X. Zhang [et al.] // Environmental Science & Technology. – 2011. – № 45 (8). – P. 3268–3274.
26. Legacy and Current-Use Flame Retardants in House Dust From Vancouver, Canada / M. Shoeib [et al.] // Environmental Pollution. – 2012. – № 169. – P. 175–182.
27. Stubbings, W. A. Factors influencing leaching of PBDEs from waste cathode ray tube plastic housings / W. A. Stubbings, S. Harrad // Science of The Total Environment. – 2016. – P. 569–570.
28. Bromine Science and Environmental Forum (BSEF). Brominated flame retardant: decabromodiphenyl ethers fact sheet, 2012 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://icl-ip.com/wp-content/uploads/2012/03/23045FR1210BSEFfactsheetDeca-BDEoct07.pdf>. – Date of access: 19.02.2017.
29. Analysis on waste-related information on decabromodiphenyl ether. 2017. UNEP/CHW.13/INF/14 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.basel.int/TheConvention/ConferenceoftheParties/Meetings/COP13/tabid/5310/Default.aspx>. – Date of access: 15.08.2018.
30. Proposal for Identification of a PBT/vPvB Substance. Bis(pentabromophenyl)ether (decabromodiphenyl ether; decaBDE). Annex XV dossier // European Chemicals Agency, ECHA. – 2012. – 264 p.
31. Report of the Conference of the Parties to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants on the work of its eighth meeting. UNEP/POPS/COP.8/32. Geneva. – 2017. – 116 p.
32. Directive 2003/11/EC of The European Parliament And Of The Council of 6 February 2003 amending for the 24-th time Council Directive 76/769/EEC relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (pentabromodiphenyl ether, octabromodiphenyl ether) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2003/11/oj>. – Date of access: 15.03.2017.
33. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment [Electronic resource]. – Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32002L0095>. – Date of access: 26.03.2016.
34. Commission Decision of 13 October 2005 amending for the purposes of adapting to the technical progress the Annex to Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (notified under document number C(2005) 3754) (Text with EEA relevance) (2005/717/EC) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:271:0048:0050:EN:PDF>. – Date of access: 11.07.2016.
35. Court Proceedings. Court of Justice // Official Journal of the European Union. C 116/2. 9.5. – 2008. – 2 p.
36. Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (recast) (Text with EEA relevance) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011L0065>. – Date of access: 19.04.2016.
37. Commission Regulation (EU) 2017/227 of 9 February 2017 amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards bis(pentabromophenyl)ether (Text with EEA relevance) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0227&from=EN>. – Date of access: 26.05.2017.
38. Risk profile on commercial octabromodiphenyl ether. Addendum. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its third meeting. 2008. UNEP/POPS/POP/RC.3/20/Add.6 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/ReportsandDecisions/tabid/3309/Default.aspx>. – Date of access: 25.06.2016.
39. Canadian Environmental Protection Act. S.C. 1999, c. 33. Came into force on March 31, 2000 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/canadian-environmental-protection-act-registry/related-documents.html>. – Date of access: 16.08.2018.
40. U.S. EPA. An Exposure Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDE) (Final) // U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-08/086F. – 2010. – 387 p.
41. Technical Fact Sheet – Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs). US EPA, 2017 [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/ffrrofactsheet_contaminant_perchlorate_january_2014_final_0.pdf – Date of access: 06.10.2016.
42. Risk profile on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE). Addendum. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its tenth meeting. 2008. UNEP/POPS/POP/RC.10.10/Add.2 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-POP/RC.10-10-Add.2.Russian.pdf>. – Date of access: 13.06.2016.
43. Решение Комиссии Таможенного союза «О едином нетарифном регулировании таможенного союза Республики Беларусь, Республики Казахстан и Российской Федерации» от 27 ноября 2009 г. № 132 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.alta.ru/tamdoc/09a00132>. – Date of access: 21.10.2017.
44. Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether, or tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether. UNEP/CHW.12/5/Add.6/Rev.1. – 2015. – 22 p.

45. Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) (recast) (Text with EEA relevance) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32012L0019>. – Date of access: 19.09.2016.
46. Survey of brominated flame retardants Environmental Project No. 1536 // The Danish Environmental Protection Agency. – 2014. – 290 p.
47. The Ordinance on Waste Prevention, Collection and Treatment of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE Ordinance). – 2005. – 1 p.
48. WEEE plastic and brominated flame retardants. A report on WEEE plastic recycling / P. Mahesh [et al.] // Toxics Linc, EMPA, Schweizerische Eidgenossenschaft, World resources forum (WRF), Sustainable recycling industries. – 2016. – 54 p.
49. Решение Коллегии Евразийской экономической комиссии «О переходных положениях технического регламента Евразийского экономического союза «Об ограничении применения опасных веществ в изделиях электротехники (ТР ЕАЭС 037/2016)» от 28.02.2017 № 24 [Electronic resource]. – Mode of access: <http://pravo.by/document/?guid=3871&p0=F91700043>. – Date of access: 13.06.2017
50. Об объемах сбора и использования вторичных материальных ресурсов, размерах и направлениях расходования средств, полученных от производителей и поставщиков в 2017 году. ГУ «Оператор вторичных материальных ресурсов». Отчет за 2017 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vtoroperator.by/sites/default/files/operator_2017_public.pdf. – Дата доступа: 02.04.2019.

References

1. Toxicological Profile for Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs). U.S. Department of health and human services. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2018. Available at: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp207.pdf> (accessed 14 August 2018).
2. Turyk M. E., Persky V. W., Imm P., Knobeloch L., Chatterton R. J., Anderson H. A. *Hormone Disruption by PBDEs in Adult Male Sport Fish Consumers*. *Environmental Health Perspectives*, 2008, no. 116, pp. 1635–1641. doi: 10.1289/ehp.11707
3. Meeker J. D., Johnson P. I., Camann D., Hauser R. *Polybrominated Diphenyl Ether (PBDE) Concentrations in House Dust are Related to Hormone Levels in Men. The Science of the Total Environment*, 2009, no. 407(10), pp. 3425–3429. doi: 10.1016/j.scitotenv.2009.01.030.
4. Herbstman J. B., Sjödin A., Kurzon M., Lederman S. A., Jones R. S., Rauh V., Neaham, L. L., Tang D., Niedzwiecki M., Yang R. Y., Perera F. *Prenatal Exposure to PBDEs and Neurodevelopment*. *Environmental Health Perspectives*, 2010, no. 118(5), pp. 712–719. doi: 10.1289/ehp.0901340.
5. Chen A., Park J. S., Linderholm L., Rhee A., Petreas M., DeFranco E. A., Dietrich K. N., Ho S. *Hydroxylated Polybrominated Diphenyl Ethers in Paired Maternal and Cord Sera*. *Environmental Science Technology*. 2013, no. 47(8), pp. 3902–3908. doi: 10.1021/es3046839.
6. Li Z. M., Hernandez-Moreno D., Main K. M., Skakkebæk N. E., Kiviranta H., Toppari J., Feldt-Rasmussen U., Shen H., Schramm K. W., De Angelis M. *Association of In Utero Persistent Organic Pollutant Exposure With Placental Thyroid Hormones*. *Endocrinology*, 2018, Vol. 159, Issue 10, pp. 3473–3481. doi: 10.1210/en.2018-00542.
7. Brown P., Cordiner A. *Lessons Learned From Flame Retardant Use And Regulation Could Enhance Future Control Of Potentially Hazardous Chemicals*. *Health affairs*, 2011, vol. 30, no. 5, pp. 906–914. doi: 10.1377/hlthaff.2010.1228.
8. Li Y., Chang Q., Duan H., Liu Y., Zhang J., Li Ji. *Occurrence, levels and profiles of brominated flame retardants in daily-use consumer products on the Chinese market*. *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 2019, pp. 446–455. doi: 10.1039/C8EM00483H.
9. Potrykus A., Milunov M., Zotz F., De Brujine E., Weissenbacher J., Kühnl M., Broneder C., Schöpel M. *Study to Support the Review of Waste Related Issues in Annexes IV and V of Regulation (EC) 850/2004. Final Report*. European Commission. Contract Number: No 07.0201/2017/767748/Etu/Env.B.3, 2019, 392 p.
10. Geyer R., Jambeck J. R., Lavender K. *Law Production, use, and fate of all plastics ever made*. *Science Advances*, Vol. 3, № 7, 2017. Available at: https://www.researchgate.net/publication/318567844_Production_use_and_fate_of_all_plastics_ever_made (accessed 16 October 2017).
11. PlasticsEurope. Plastics – The Facts 2016. An Analysis of European Plastics Production, Demand and Waste Data. Plastics Europe. Brussels. Plastics Europe. Brussels, 2016. Available at: <https://www.plasticseurope.org/application/files/4315/1310/4805/plastic-the-fact-2016.pdf> (accessed 20 August 2018).
12. Weber R., Kuch B. *Relevance of BFRs and thermal conditions on the formation pathways of brominated and brominated-chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans*. *Environment International*, 2003, Vol. 29, Issue 6, pp. 699–710. doi: 10.1016/S0160-4120(03)00118-1.
13. Ionas A. C., Durtu A. C., Anthonissen T., Neels H., Covaci A. *Downsides of the Recycling Process: Harmful Organic Chemicals in Children's Toys*. *Environment international*, 2014, no. 65, pp. 54–62. doi: 10.1016/j.envint.2013.12.019.
14. UNEP. Draft technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with short-chain chlorinated paraffins. UNEP/CHW/OEWG.11/INF/10, 2018. Available at: <http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW-OEWG.11-10.Russian.pdf> (accessed 12 September 2018).
15. Ionas A. C. *Children's exposure to polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) through mouthing toys*. *Environ Int.*, 2016, no. 87, pp. 101–107. doi: 10.1016/j.envint.2015.11.018.
16. Chen S. J., Ma Y. J., Wang J., Chen D., Luo X. J., Mai B. X. *Brominated flame retardants in children's toys: concentration, composition, and children's exposure and risk assessment*. *Environmental Science Technology*, 2009, no. 43(11), pp. 4200–4206. doi: 10.1021/es9004834.

17. Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether, or tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether or decabromodiphenyl ether. Addendum. Conference of the Parties to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and Their Disposal. Fourteenth meeting. UNEP/CHW.14/7/Add.3, 2019. Available at: <http://www.brsmeas.org/2019COPs/MeetingDocuments/tqid/7832/language/en-US/Default.aspx> (accessed 10 February 2019).
18. Guidance on best available techniques and best environmental practices for the recycling and disposal of wastes containing polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Updated 2017. UNEP, Stockholm convention, 2017, 114 p.
19. Zhang B., Zhao B., Yu M., Zhang J. *Emission inventory and environmental distribution of decabromodiphenyl ether in China*. *Sci Total Environ*, 2017, no. 1(599–600), pp. 1073–1081. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.060.
20. Analysis of the information received by the Basel Convention related to c-decaBDE as called for in decision BC-12/3. Meeting of the Small Intersessional Working Group (SIWG) on Persistent Organic Pollutants (POPs). BIPRO, 2017. Available at: http://www.basel.int/Portals/4/download.aspx?d=UNEP-CHW-CLI_SIWG.2-REL-PRESEN-BIPRO-decaBDEwaste.English.pdf (accessed 12 May 2017).
21. Straått M., Nilsson C. *Decabromodiphenyl ether and other flame retardants in plastic waste destined for recycling*. Swerea IVF. Project Report. M-973, 2018, 29 p.
22. Stapleton H. M. *Polybrominated diphenyl ethers in house dust and clothes dryer lint*. *Environtal Science and Technology*, 2005, no. 39(4), pp. 925–931. doi: 10.1021/es0486824.
23. Harrad S. *Polybrominated diphenyl ethers in domestic indoor dust from Canada, New Zealand, United Kingdom and United States*. *Environment International*, 2008, vol. 34, Iss. 2, pp. 232–238. doi: 10.1016/j.envint.2007.08.008.
24. Takigami H. *Transfer of Brominated Flame Retardants from Components into Dust inside Television Cabinets*. *Chemosphere*, 2008, no. 73 (2), pp. 161–169. doi: 10.1016/j.chemosphere.2008.06.032.
25. Zhang X., Diamond M. L., Robson M., & Harrad S. Sources, Emissions, and Fate of Polybrominated Diphenyl Ethers and Polychlorinated Biphenyls Indoors in Toronto, Canada. *Environmental Science & Technology*, 2011, no. 45(8), pp. 3268–3274. doi: 10.1021/es102767g.
26. Shoeib M. *Legacy and Current-Use Flame Retardants in House Dust From Vancouver, Canada*. *Environmental Pollution*, 2012, no. 169, pp. 175–82. doi: 10.1016/j.envpol.2012.01.043.
27. Stubbings W. A., Harrad S. *Factors influencing leaching of PBDEs from waste cathode ray tube plastic housings*. *Science of The Total Environment*, 2016, pp. 569–570. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.107.
28. Bromine Science and Environmental Forum (BSEF). Brominated flame retardant: decabromodiphenyl ethers fact sheet, 2012. Available at: <http://icl-ip.com/wp-content/uploads/2012/03/23045FR1210BSEFfactsheetDeca-BDEOct07.pdf> (accessed 19 February 2017).
29. Analysis on waste-related information on decabromodiphenyl ether. 2017. UNEP/CHW.13/INF/14. Available at : <http://www.basel.int/TheConvention/ConferenceoftheParties/Meetings/COP13/tqid/5310/Default.aspx> (accessed 15 August 2018).
30. *Proposal for Identification of a PBT/vPvB Substance. Bis(pentabromophenyl)ether (decabromodiphenyl ether; decaBDE)*. Annex XV dossier. European Chemicals Agency, ECHA, 2012, 264 p.
31. *Report of the Conference of the Parties to the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants on the work of its eighth meeting*. UNEP/POPS/COP.8/32. Geneva, 2017, 116 p.
32. Directive 2003/11/EC of the European Parliament And Of The Council of 6 February 2003 amending for the 24-th time Council Directive 76/769/EEC relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (pentabromodiphenyl ether, octabromodiphenyl ether). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2003/11/oj> (accessed 15 March 2017).
33. Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32002L0095> (accessed 26 March 2016).
34. Commission Decision of 13 October 2005 amending for the purposes of adapting to the technical progress the Annex to Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the Council on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (notified under document number C(2005) 3754) (Text with EEA relevance) (2005/717/EC). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2005:271:0048:0050:EN:PDF> (accessed 11 July 2016).
35. *Court Proceedings. Court of Justice*. Official Journal of the European Union. C 116/2. 9.5. 2008, 2 p.
36. Directive 2011/65/EU of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (recast) (Text with EEA relevance). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32011L0065> (accessed 19 April 2016).
37. Commission Regulation (EU) 2017/227 of 9 February 2017 amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards bis(pentabromophenyl)ether (Text with EEA relevance). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017R0227&from=EN> (accessed 26 May 2017).
38. Risk profile on commercial octabromodiphenyl ether. Addendum. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its third meeting. 2008. UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.6//. Available at: <http://chm.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/ReportsandDecisions/tqid/3309/Default.aspx>. (accessed 25 June 2016).
39. Canadian Environmental Protection Act. S.C. 1999, c. 33. Came into force on March 31, 2000. Available at: <https://www.canda.ca/en/environment-climate-change/services/canadian-environmental-protection-act-registry/related-documents.html> (accessed 16 August 2018).
40. U.S. EPA. *An Exposure Assessment of Polybrominated Diphenyl Ethers (Pbde) (Final)*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-08/086F, 2010, 387 p.

41. Technical Fact Sheet – Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs). US EPA, 2017. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-03/documents/frrrofactsheet_contaminant_perchlorate_january_2014_final_0.pdf (accessed 10 February 2017).
42. Risk profile on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE). Addendum. Report of the Persistent Organic Pollutants Review Committee on the work of its tenth meeting. 2008. UNEP/POPS/POPRC.10.10/Add.2. Available at: <http://chm.pops.int/Portals/0/download.aspx?d=UNEP-POPS-POPRC.10-10-Add.2.Russian.pdf> (accessed 13 June 2016).
43. *Resheniye Tamozhennogo soyusa «Ot yedinogo netarifnogo regulirovaniya tamozhennogo soyusa Respubliki Belarus', Respubliki Kazakhstan i Rossiyskoy Federatsii»* [Decision of the Customs Union "From the single non-tariff regulation of the customs union of the Republic of Belarus, the Republic of Kazakhstan and the Russian Federation"] of 27 noyabrya 2009 g. № 132 [from 27 November 2009 no. 132]. Available at: <https://www.alta.ru/tamdoc/09a00132> (accessed 21 October 2017) (in Russian).
44. *Technical guidelines on the environmentally sound management of wastes consisting of, containing or contaminated with hexabromodiphenyl ether and heptabromodiphenyl ether, or tetrabromodiphenyl ether and pentabromodiphenyl ether.* UNEP/CHW.12/5/Add.6/Rev.1, 2015, 22 p.
45. Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) (recast) (Text with EEA relevance). Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32012L0019> (accessed 1 September 2016).
46. *Survey of brominated flame retardants Environmental Project No. 1536.* The Danish Environmental Protection Agency, 2014, 290 p.
47. *The Ordinance on Waste Prevention, Collection and Treatment of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE Ordinance),* 2005, 1 p.
48. Mahesh P., Jena A., Kumar V., Gasser M. *WEEE plastic and brominated flame retardants. A report on WEEE plastic recycling.* Toxics Linc, EMPA, Schweizerische Eidgenossenschaft, World resources forum (WRF), Sustainable recycling industries, 2016, 54 p.
49. *Resheniye Kollegii Yevraziyskoy ekonomicheskoy komissii "Ob ogranicenii primeneniya khimicheskikh veshchestv v elekrotekhnike"* [The decision of the Board of the Eurasian Economic Commission "On the restriction of the use of chemicals in electrical engineering"] (TP ЕАЭС 037/2016) от 28.02.2017 no 24. Available at: <http://pravo.by/document/?guid=3871&p0=F91700043> (accessed 13 June 2017) (in Russian).
50. *Ob ob'yemakh sbara i ispol'zovaniya vtorichnykh material'nykh resursov, razmerakh i napravleniyakh raskhodovaniya sredstv, poluchennykh ot proizvoditeley i postavshchikov v 2017 godu. GU «Operator vtorichnykh material'nykh resursov». Otchet za 2017 god* [On the volume of collection and use of secondary material resources, the size and directions of expenditure of funds received from manufacturers and suppliers in 2017. State institution "Operator of secondary material resources". Report for 2017]. Available at: https://vtoroperator.by/sites/default/files/operator_2017_public.pdf (accessed 02 April 2019) (in Russian).

Информация об авторах

Кухарчик Тамара Иосифовна – д-р геогр. наук, гл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: tkukharchyk@gmail.com

Чернюк Владимир Дмитриевич – мл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: chernyuk.vladimir.m@mail.ru

Козыренко Маргарита Ивановна – канд. геогр. наук, науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: margarita_kozyrenko@tut.by

Information about the authors

Tamara I. Kukharchyk – D.Sc. (Geography), Chief Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tkukharchyk@gmail.com

Vladimir D. Chernyuk – Junior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: chernyuk.vladimir.m@mail.ru

Marharyta I. Kazyrenka – Ph.D. (Geography), Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: margarita_kozyrenko@tut.by

ГЕОЛОГИЯ. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ GEOLOGY. MINERALS

УДК 551.243.8

Поступила в редакцию 14.03.2019

Received 14.03.2019

ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЛИТОСФЕРЫ БАЛТИЙСКО-ПРИДНЕСТРОВСКОГО ПЕРИКРАТОННОГО ОПУСКАНИЯ

Р. Г. Гарецкий, Г. И. Карапаев, С. В. Голобоков, С. Л. Сушкевич, А. К. Хибьев

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Восточно-Европейская докембрийская и Западно-Европейская эпипалеозойская платформы разделяются системой глубинных разломов мантийного заложения по линии Тейссейра–Торнквиста (TTZ). К линии TTZ на западе Восточно-Европейской платформы примыкает Балтийско-Приднестровская система (зона) перикратонных опусканий. Геологическое строение этой структуры ранее изучено группой геологов Эстонии, Латвии, Литвы, Украины, Молдавии, Беларусь в рамках исследований по Международной программе геологической корреляции (МПГК): ими был построен и с геодинамических позиций проанализирован комплект карт мощностей отложений рифея, волынской серии венда, валдайской серии венда, балтийской серии раннего кембрия, каледонского структурного комплекса. В связи с новыми, ранее не использованными геофизическими материалами, по территории Балтийско-Приднестровского перикратонного опускания и сопредельных областей в статье приводятся результаты изучения глубинного строения земной коры данного региона и закономерности в отражении рельефа фундамента и тектонических структур в геофизических полях.

Ключевые слова: тектоника; геофизика; перикратонные опускания; глубинные разломы.

Для цитирования. Гарецкий Р. Г., Карапаев Г. И., Голобоков С. В., Сушкевич С. Л., Хибьев А. К. Глубинное строение литосферы Балтийско-Приднестровского перикратонного опускания // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 134–145.

DEEP STRUCTURE OF THE LITHOSPHERE OF THE BALTIC AND PRIDNESTROVSK PERICRATON LOWERING

R. G. Garetsky, G. I. Karataev, S. V. Golobokov, S. L. Sushkevich, A. K. Khibiev

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

Abstract. Eastern European Precambrian and Western European epipalaeozoic platform is separated with a system of deep faults in mantle of laying the line Teisseyre–Tornquist (TTZ). To the line of TTZ in the West of the East European platform adjoins the Baltic-Pridnestrovsk system (zone) pericraton lowering. The geological structure of this structure is satisfied it is in detail studied the group of geologists of Estonia, Latvia, Lithuania, Ukraine, Moldavia, Belurus. Researches were conducted within the framework of researches on the International program of geological correlation (MPGK): it was built by them and from geodynamic positions the complete set of maps of powers of deposits of rifeya, Volhynia series of venga, valdayskoy series of venga, Baltic series of early cembriya, Caledonia structural complex is analysed. In connection with new, previously unused geophysical materials, on the territory of the Baltic-Pridnestrovsk pericraton lowering and adjacent areas, the article presents the results of a study of the deep structure of the earth's crust of the region and patterns in the reflection of the basement and tectonic structures in the geophysical fields.

Key words: tectonical; geophysics; pericraton lowering; fault belt.

For citation. Garetsky R. G., Karataev G. I., Golobokov S. V., Sushkevich S. L., Khibiev, A. K. Deep structure of the lithosphere of the Baltic and Pridnestrovsk pericraton lowering. *Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 134–145.

Впервые зоны перикратонных опусканий, как платформенных структур первого порядка, выделил Е. В. Павловский еще в 1959 г. [1]. Позднее подобные структуры выделяли под разными названиями: зоны перикратонных опусканий, перикратонные опускания [2], окраинные прогибы [3], перикратонные прогибы [4], приплатформенные зоны краевых систем [5]. На окраинных молодых платформах, примыкающих к геосинклинальным областям, их гомологами являются периплатформенные моноклинали или опускания [6].

М. В. Муратов и другие [3] на западной окраине Восточно-Европейской платформы (ВЕП) выделили Приднестровский (или Западный) окраинный прогиб, сопоставляя его с зонами перикратонных опусканий. А. А. Богданов и другие [4] на юго-западном крае ВЕП также выделяли Приднестровский перикратонный прогиб. В. В. Глушко и другие [7, 8] и А. В. Хижняков [9] наметили здесь Приднестровскую зону перикратонных опусканий, а Ю. Г. Моргунов [10] – южную часть этой зоны назвал Днепровско-Прутским перикратонным прогибом. В. Е. Хайн [11] вдоль краевого шва ВЕП (линии Тейссейра–Торнквиста) более чем на 1500 км от Балтийского моря до Молдавии выделял Вислянско-Днестровскую перикратонную зону. Р. Г. Гарецкий и Р. Е. Айзберг [12], учитывая, что перикратонная зона ВЕП состоит из системы различных прогибов, предложили ее назвать Мазовецко-Приднестровской системой перикратонных прогибов. В статье Р. Г. Гарецкого и других [13] было предложено цепочку прогибов и впадин, которые протянулись от Балтийского моря и Балтийской синеклизы на севере до Черного моря и Приднестровского прогиба на юге, назвать Балтийско-Приднестровской зоной (или системой) перикратонных опусканий, короче – Балтийско-Приднестровское перикратонное опускание (БППО).

В дальнейшем эта проблема наиболее полно рассмотрена в результате разработки проекта № 86 Международной программы геологической корреляции «Восточная-Европейская платформа (юго-западный край)», особенно в сборниках «Геология запада Восточно-Европейской платформы» [14], «Тектоника запада Восточно-Европейской платформы» [15] и в монографии Г. В. Зиновенко «Балтийско-Приднестровская зона перикратонных опусканий» [16].

На рис. 1 показана тектоническая схема БППО, включающего следующие структуры: Молдавскую моноклиналь, Северо-Молдавское поднятие, Волыно-Подольскую впадину, Луковско-Ратновский выступ, Подлясско-Брестскую впадину, Мазурский выступ, Балтийскую синеклизу, юго-западный фрагмент Балтийского щита [16].

Был построен комплект карт мощностей отложений рифея, волынской серии венда, валдайской серии венда, балтийской серии раннего кембра, каледонского структурного комплекса и дан их палеотектонический анализ. На рис. 1 показана тектоническая схема фундамента БППО по работе [16].

Прогибание западной окраины ВЕП произошло в волынское время – начала формироваться субмеридиональная Кобринская впадина. Такая перестройка структурного плана привела в дальнейшем к образованию зоны перикратонных опусканий. В валдайское время на юго-западном склоне ВЕП сформировалась уже отчетливо выраженная продольная Кобринско-Прутская зона опусканий с увеличением мощности отложений в юго-западном и в южном направлениях. Наряду с развитием Кобринско-Прутской зоны перикратонных опусканий, состоящей из Кобринской впадины, Тернопольской впадины и Прутского опускания. Наряду с развитием Кобринско-Прутской зоны опусканий в северо-восточном направлении продолжала формироваться Кобринско-Полоцкая отрицательная структура северо-восточного простирания.

В балтийское время раннего кембра Кобринско-Прутская зона перикратонных опусканий расширилась к северо-западу и захватила значительную территорию Мазовии и Польши, прилегающую к линии Тейссейра–Торнквиста, и тем самым сформировалась Мазовецко-Прутская зона перикратонных опусканий. Однако Кобринская впадина через Лидско-Слонимскую седловину соединяется с Полоцкой впадиной, которая на севере сливалась с Полоцкой впадиной. Последняя в валдайско-балтийское время явилась связующим звеном активного развития Мазовецко-Прутской зоны перикратонных опусканий и Московской синеклизы [15].

Каледонский этап был определяющим в формировании современной структуры поверхности фундамента БППО.

Формирование пассивной окраины континента происходило вдоль линии Тейссейра–Торнквиста от Балтики до Приднестровья. Здесь накапливались мощные призмы терригенных и карбонатных пород надбалтийского кембра – самых низов нижнего девона.

Каледонский структурный комплекс слагают трансгрессивные терригенные формации кембра и тремадокского яруса ордовика, инундационные-карбонатные, карбонатно-глинистые и глинистые ордовика и силура, регressive – карбонатно-терригенные и терригенные жединского яруса девона. Каледонский структурный комплекс является основным нефтегазоносным источником на западной окраине ВЕП. Он включает мощные толщи нефтематеринских пород и пород, обладающих хорошими коллекторскими свойствами, в нем установлены ловушки структурного и неструктурного типа. К этому комплексу приурочены месторождения горючих сланцев, фосфоритов и сульфидная минерализация.

Геологические исследования БППО недостаточно сопровождались геофизическими данными, в особенности в части глубинного строения земной коры и верхней мантии, что обедняет полученные результаты с точки зрения тектоно-физической природы.

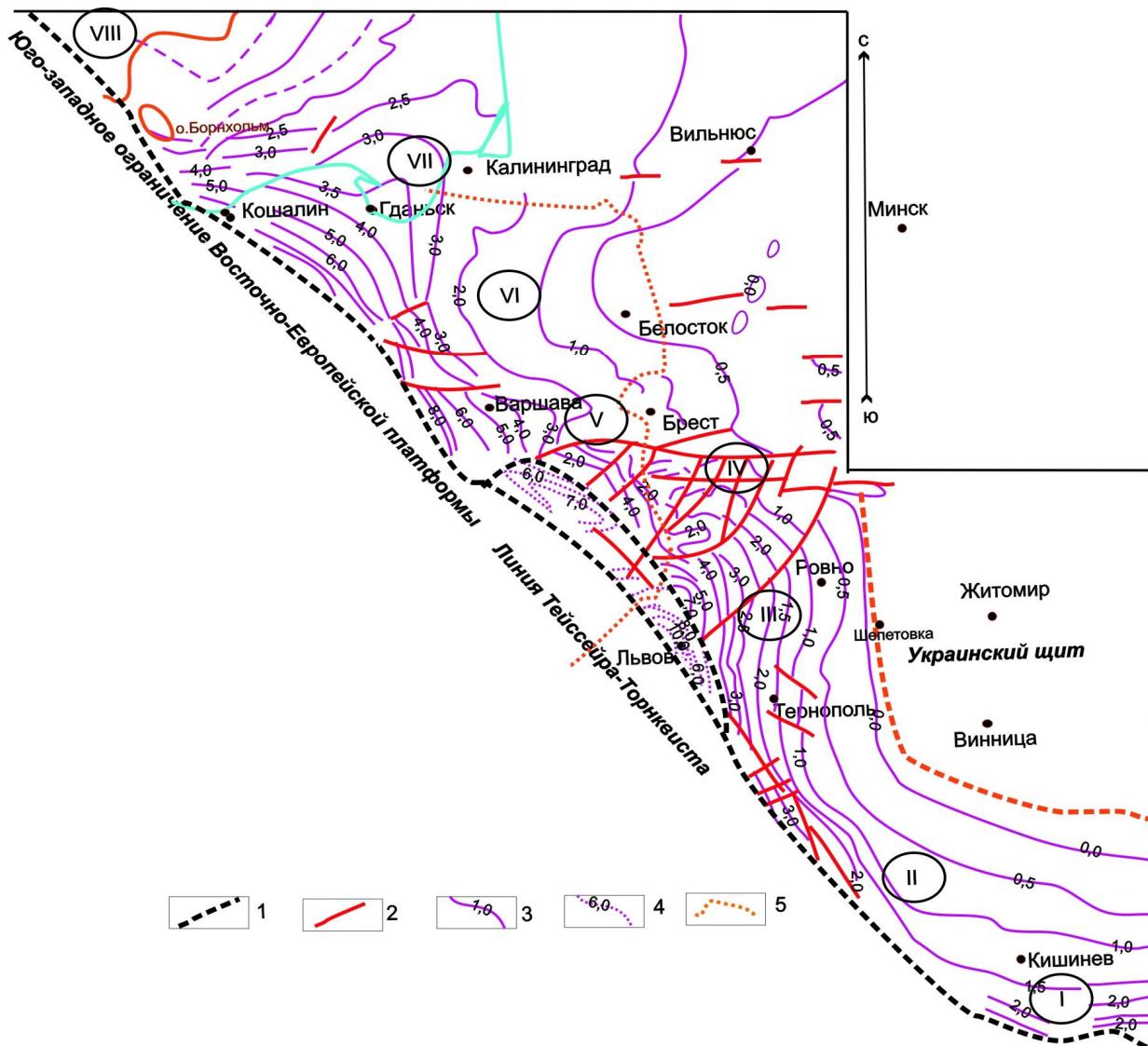


Рис. 1. Структурная карта поверхности фундамента Балтийско-Приднестровского перикратонного опускания [16]: 1 – юго-западная граница Восточно-Европейской платформы – линия Тейссейра–Торнквиста; 2 – глубинные разломы; 3 – изогипсы поверхности архейско-раннепротерозойского фундамента; 4 – изогипсы поверхности предположительно раннебайкальского фундамента; 5 – государственная граница. В кругах: I – Молдавская моноклиналь; II – Северо-Молдавское поднятие; III – Волыньно-Подольская впадина; IV – Луковско-Ратновский выступ; V – Подляско-Брестская впадина; VI – Мазурский выступ; VII – Балтийская синеклиза; VIII – Балтийский щит

Fig. 1. Structural map of the base surface Baltic-Pridnestrovian pericraton lowering [16]: 1 – south-western border of the East European Platform – Teissira-Tornqvist; 2 – deep faults; 3 – isogypsum surface of the Archean-Early Proterozoic basement; 4 – surface isohypsies of supposedly Early Baikal foundation; 5 – state border. In circles: I – Moldavian monocline; II – North-Moldova uplift; III – Volyn-Podolsk depression; IV – Lukovsko-Ratnovsky ledge; V – Podlaskie-Brest Depression; VI – Masurian Ledge; VII – Baltic syneclyse; VIII – Baltic shield

Границы БПОО по потенциальным геофизическим полям были выделены лишь в работе [17]; геотермические данные БПОО проиллюстрированы в работе [18]. Отмечено, что по территории Западно-Европейской платформы (ЗЕП) вдоль линии ТТЗ зафиксирована группа аномалий тепловых потоков до $50\text{--}65 \text{ мВт}/\text{м}^2$. Непосредственно вдоль всей северо-западного простириания структуры БПОО тепловой поток колеблется от 60 (на юге и в центре) до 40 (на севере) $\text{мВт}/\text{м}^2$.

В работе [16] на территории БППО лишь на схеме упоминаются три профиля ГСЗ (LT-3, VII и VIII) без анализа разрезов. Правда, во всех работах приводятся геофизические данные о линии Тейссейра–Торнквиста глубинных разломов мантийного заложения как границы, разделяющей ВЕП и ЗЕП, заложение которой произошло в среднем протерозое [19].

В работе [15] по материалам геофизических исследований дается краткая характеристика соотношения структуры ЗЕП и ВЕП. Для ЗЕП характерна тонкая земная кора мощностью 20–35 км, для ВЕП – толстая кора мощностью 40–65 км. Различен и тепловой поток: сложное контрастное тепловое поле с высокими значениями потока ($50\text{--}90 \text{ мВт}/\text{м}^2$) на ЗЕП и более спокойное слабо дифференцированное поле с меньшими значениями ($30\text{--}50 \text{ мВт}/\text{м}^2$) на ВЕП. Различен стратиграфический диапазон чехла платформ: в пределах ЗЕП наиболее древние горизонты чехла принадлежат кембрию, а на ВЕП – рифею.

Настоящий (ортоплатформенный) чехол на ЗЕП начинается с верхней перми, а на ВЕП – с верхнего венда. Различен на обеих платформах и магматизм. На ЗЕП широко развит субсеквентный магматизм в ранней перми и базальтоидный – в неогене; для ВЕП типичен трапповый магматизм в венде и рифтовый – в ранних авлакогенах рифея и поздних авлакогенах девона. Различен, наконец, современный структурный рисунок. Для ЗЕП характерны линейные тектонические формы и более существенное участие разломной тектоники. Для ВЕП типичнее изометричные структурные формы, не считая лишь ранние и поздние авлакогены. Наиболее ярко строение земной коры в зоне перехода от ВЕП к ЗЕП характеризует профиль ГСЗ VIII [20, 21] (рис. 2).

К настоящему времени по территории БПО имеется значительный объем геофизических данных, геологическая интерпретация которых позволяет уточнить геологические представления о глубинной структуре земной коры БПО и истории ее возникновения. Приведем эти данные.

На всей территории БПО и его окрестностях выполнена гравиметрическая и магнитная съемки в масштабе 1 : 200 000 (рис. 3 и 4) [22–26].

Анализ характера отражения геологических структур БПО в гравитационном и магнитном аномальных полях представлен в таблице. Не трудно видеть, что каждая из структур имеет свой эксклюзивный отпечаток в полях.

В целом БПО характеризуется сложными по морфоструктуре и интенсивности аномальными полями различной ориентировки, эксклюзивно присущей геологическим структурам.

На рис. 5 представлена схема профилей глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) и профилей физико-геологического (ФГМ) – сейсмо-гравитационного – моделирования разрезов земной коры на территории Балтийско-Приднестровского перикратонного опускания и сопредельных областей.

Материалы – сейсмические и сейсмо-плотностные разрезы – опубликованы в работах [19–21, 27–32].

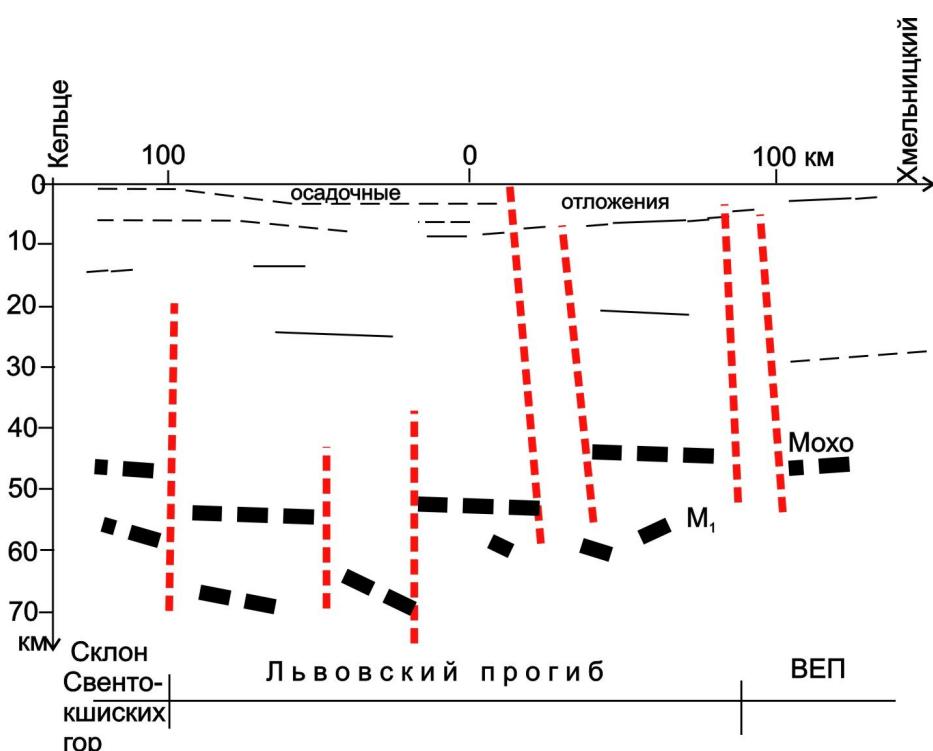


Рис. 2. Разрез земной коры по профилю ГСЗ VIII Кельце (Польша)–Хмельницкий (Украина) [21]

Fig. 2. The section of the earth's crust along the profile of GSZ VIII Kielce (Poland)–Khmelnitsky (Ukraine) [21]

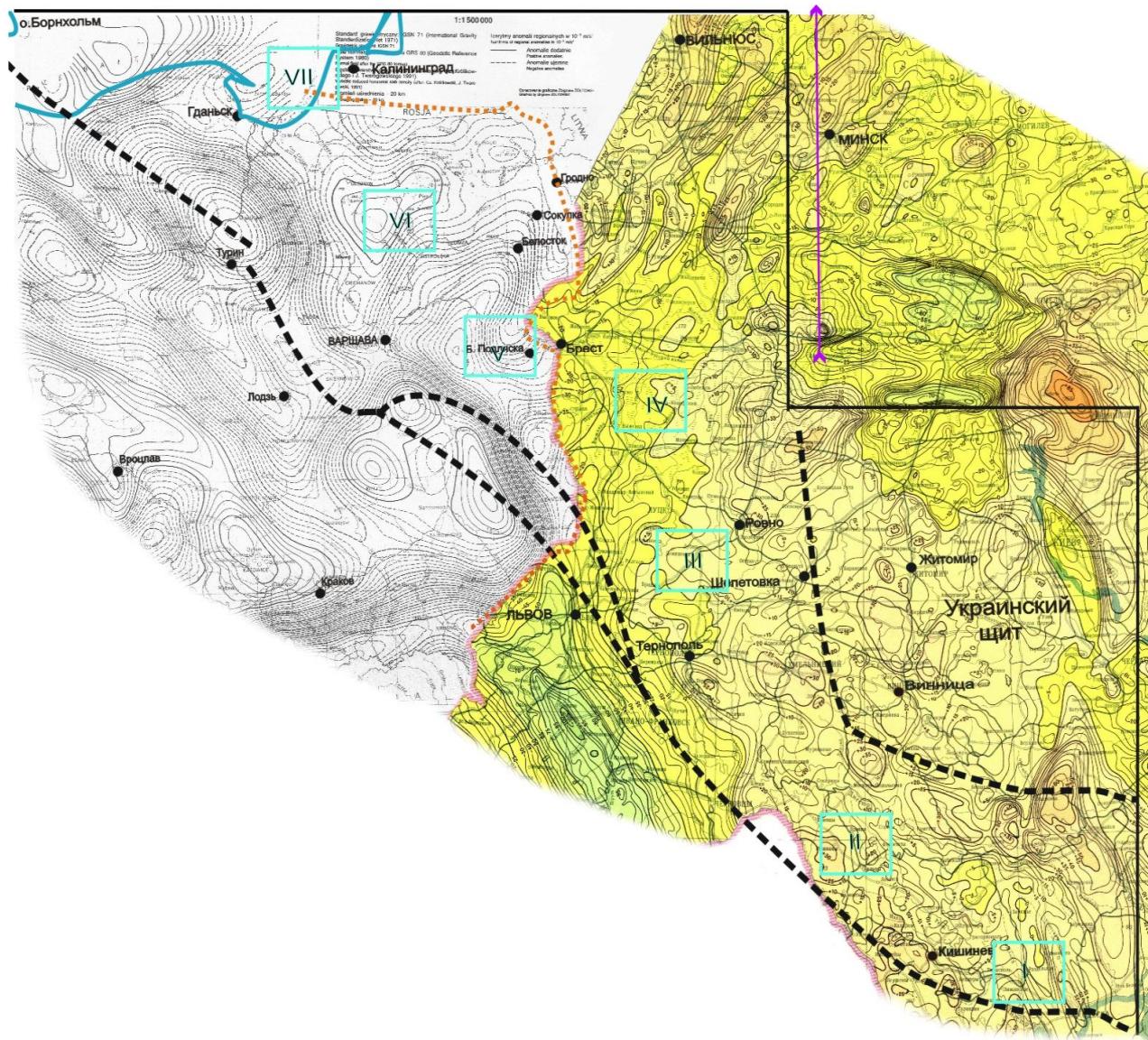


Рис. 3. Карта гравитационных аномалий Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий и сопредельных областей [22, 24]. В квадратах: I – Молдавская моноклиналь; II – Северо-Молдавское поднятие; III – Волыно-Подольская впадина; IV – Луковско-Ратновский выступ; V – Подлясско-Брестская впадина; VI – Мазурский выступ; VII – Балтийская синеклиза; VIII – Балтийский щит

Fig. 3. Map of the gravitational anomalies of the Baltic- Priednestrovsk zone of pericraton lowering and adjacent areas [22, 24]. In squares: I – Moldavian monocline; II – North-Moldava uplift; III – Volyn-Podolsk depression; IV – Lukovsko-Ratnovsky ledge; V – Podlaskie-Brest Depression; VI – Masurian Ledge; VII – Baltic syneclyse; VIII – Baltic shield

Небольшая часть из этих материалов ГСЗ была использована в работе [32] при разработке глубинной модели земной коры Восточно-Европейской платформы. На рис. 6 приведен фрагмент этой модели для территории Балтийско-Приднестровского перикратонного опускания и смежных геологических структур. Напомним, что в англоязычной геофизической литературе земная кора разделяется на верхний, средний и нижней слои. В русскоязычной же литературе эти слои рассматриваются как «гранитный», «диоритовый», «базальтовый» соответственно и для этого есть следующие основания.

С. С. Красовский и И. К. Пашкевич [33], анализируя в аспекте петрологического состава основных слоев земной коры более 8000 образцов горных пород по всему земному шару и материалы глубинных сейсмических зондирований, выполненных на территории Украины и сопредельных районов, установили следующее. Скоростному интервалу 6,3 км/с отвечают в основном следующие разновидности пород: граниты, щелочные породы, туфы, серпентиниты. В меньшей мере присутствуют метаосновные и зеленокаменные породы, диориты, гранодиориты, чарнокиты, гнейсы, сланцы. Плот-

нность пород колеблется от 2,60 до 2,82 г/см³ при среднем значении 2,76 г/см³. Набор пород и средняя плотность этого комплекса соответствует названию «гранитного» слоя. Скорости 6,3–6,8 км/с характерны для комплекса пород: гранодиоритов, габброидов, базальтов и других основные пород, а также для метаосновных, чарнокитов, гнейсов, сланцев, диоритов, зеленокаменных пород. Средняя плотность этого комплекса – 2,76–2,91 г/см³. Следовательно, название этого среднего слоя коры соответствует названию «диоритовый». Наконец, для третьего интервала сейсмических скоростей, имеющих значение больше 6,8 км/с, характерны амфиболиты, гранулиты, пироксениты, перидотиты, эклогиты (средняя плотность пород – 2,92–3,30 г/см³).

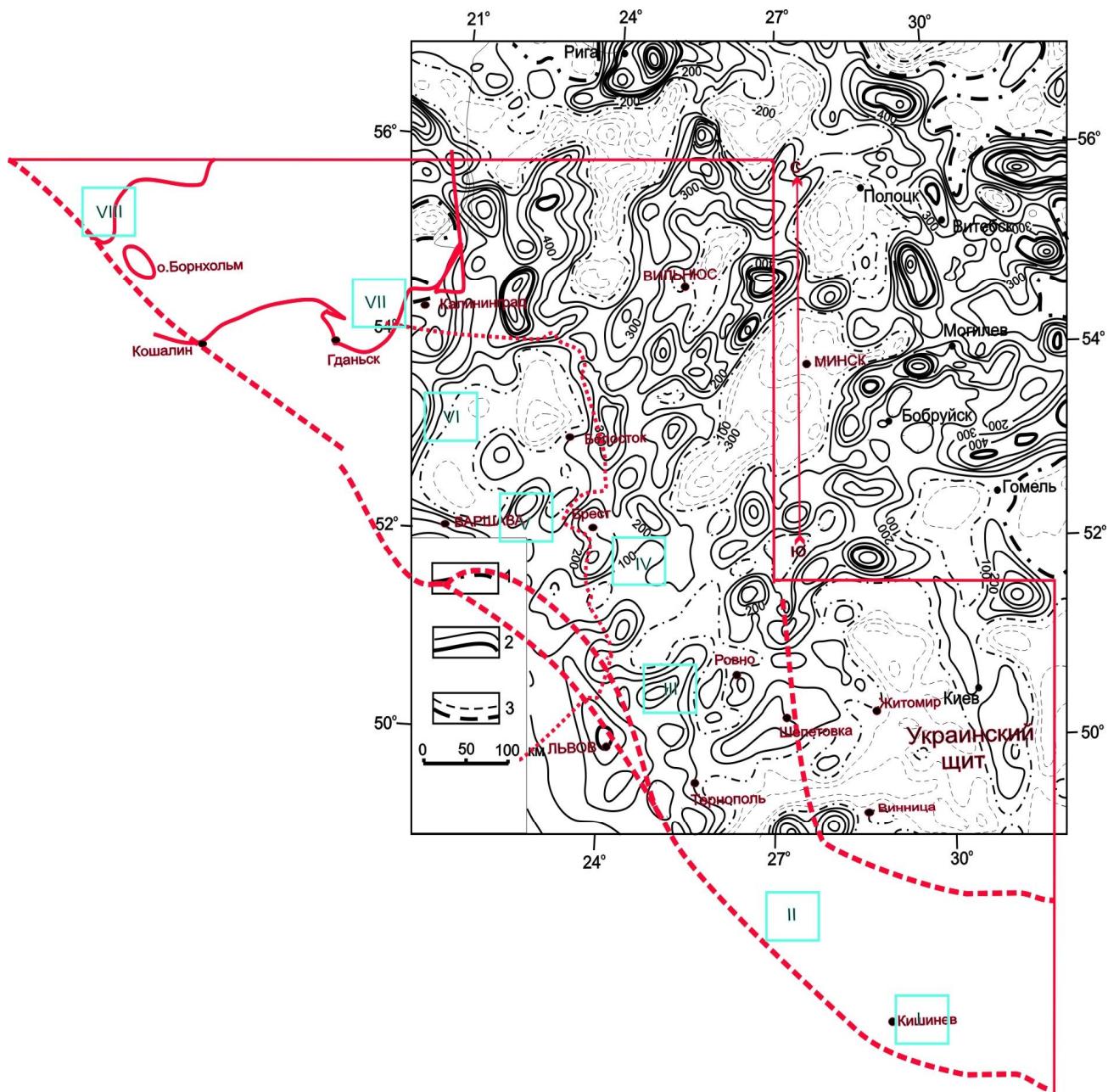


Рис. 4. Карта магнитных аномалий Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий и сопредельных областей [25, 26]. Обозначения те же, что и на рис. 3

Fig. 4. Map of magnetic anomalies of the Baltic-Pridnestrovsk zone of pericratonic subsidence and adjacent areas [25, 26]. The designations are the same as in fig. 3

**Геофизическая характеристика основных структур фундамента
Балтийско-Приднестровского перикратонного опускания**

**Geophysical characteristics of the basic structures of the foundation
Baltic-Pridnestrovsk of pericratonic subsidence**

Геологическая структура	Рельеф фундамента	Поле		Рельеф поверхности Мохо
		гравитационное	магнитное	
Молдавская моноклиналь	Градиентное падение рельефа на север от 2,0 до 1,5 км	Узколинейный слабый минимум, рассекающий структуру в субмеридиональном направлении	Относительно слабое отрицательное поле порядка 100 нТл	–
Северо-Молдавское поднятие	Слабо выраженное изогипсой поднятие порядка менее 0,5 км	Высокоградиентное поле; зона перехода интенсивной положительной +30 мГал аномалии на западе на относительно слабый минимум около 5 мГал на востоке	Сложно построенная структура аномально-го поля – чередование положительных и отрицательных аномалий	На юго-западном склоне крупного поднятия, на глубине 38 км
Волыно-Подольская впадина	Градиентный рельеф с падением на запад от 1,0 до 2,5 км	Слабоинтенсивный положительный «залив» северо-западного простирания порядка 15–5 мГал	Градиентное поле, изменяющееся с запада на восток на от +400 до –100 нТл	На юго-западной периклинале поднятия, на глубине 40 км
Луковско-Ратновский выступ	Ярко выраженное поднятие, контролируемое на западе и на востоке разломами	Слабовыраженное градиентное поле с падением на запад на 15 мГал	Относительно слабое положительное поле порядка 100 нТл	На северо-западной периклинале поднятия, на глубине 40 км
Подлясско-Брестская впадина	Впадина порядка 1,5–2,0 км, фиксируемая изгибом изолиний	Значительное по интенсивности отрицательное поле в виде «залива» юго-западного простирания	Слабая отрицательная аномалия около 100 нТл	В седловине между двумя поднятиями, на глубине 44 км
Мазурский выступ	Выражен выступом изолиний в западном направлении от 1,0 до 2,0 км	Ярко выраженный максимум значительной интенсивности 8–10 мГал, северо-восточного простирания	Четко выраженная слабая отрицательная аномалия порядка 100 нТл	На локальном поднятии, северо-западного простирания на глубине 38 км
Балтийская синеклиза	Ярко выражена впадиной в рельефе фундамента, падающего в юго-западном направлении от 2,5 до 6,0–7,0 км	Интенсивная отрицательная аномалия порядка 15–20 мГал северо-восточного простирания, приуроченная к Балтийскому морю	Сложная структура аномального поля – чередование положительных и отрицательных аномалий	В зоне перехода от крупного линейно вытянутого поднятия к впадине субширотного простирания, на глубине 42–44 км

Таким образом, выделяемые условные «гранитный», «диоритовый» и «базальтовый» слои имеют реальный петрологический смысл. Поэтому при интерпретации ныне распространенных названий слоев земной коры – верхний, средний, нижний – необходимо их положение в разрезе привязывать к изолиниям сейсмических скоростей близких к значениям 6,3, 6,8 и 8,2–8,25 км/с соответственно.

На рис. 6 видно, что БППО довольно четко фиксируется по характеру строения «гранитного», «диоритового» и «базальтового» слоев и по мощности земной коры в целом. Во-первых, мощности этих слоев в БППО существенно отличны от смежных структур, а простирание изопахит слоев отвечает северо-западному простиранию БППО; во-вторых, наблюдается переменность значений мощностей слоев вдоль БППО, свидетельствующая о различии тектонофизических процессов формирования земной коры БППО.

Далее мы предлагаем наш вариант карты рельефа поверхности Мохоровичча (Мохо) на территории БППО, построенный по материалам ГСЗ и ФГМ, опубликованным в работах [19–21, 27–32]. Для этого интерполяция значений «сейсмических глубин» в межпрофильном пространстве выполнена нами как на основе известной корреляции мощности земной коры с аномальным гравитационным полем (на рис. 7 показано поле такого рода корреляции для территории БППО), так и с использованием компьютерной программы SURFER с параметром нелинейной интерполяции.

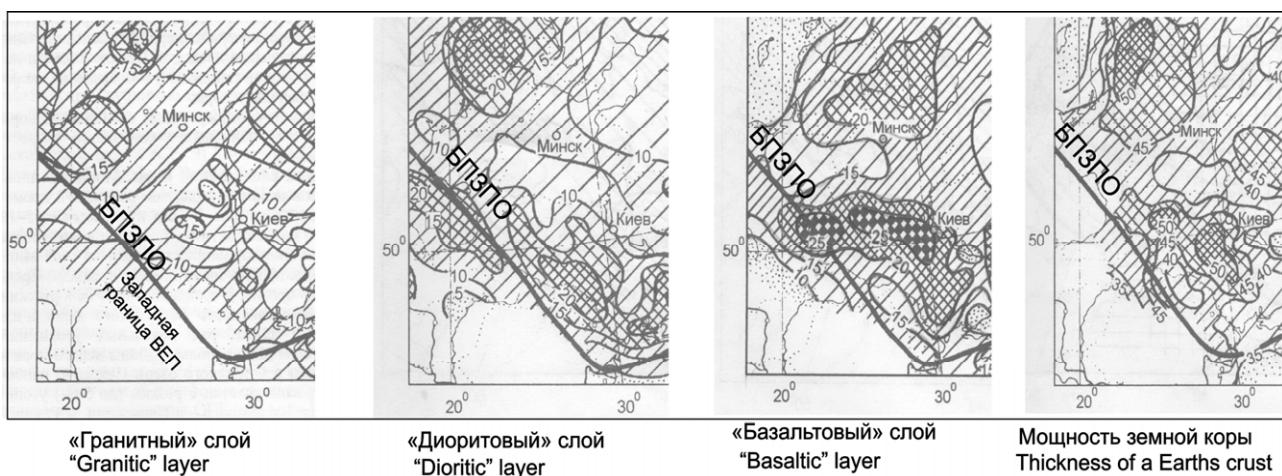


Рис. 6. Характеристика глубинного строения земной коры Балтийско-Приднестровской зоны перикратонных опусканий (БПЗПО), по материалам работы [22]

Fig. 6. Characteristics of the deep structure of the earth's crust Baltic-Prudnistrovsk zone of pericraton lowering (BPZPL), on materials of source [22]

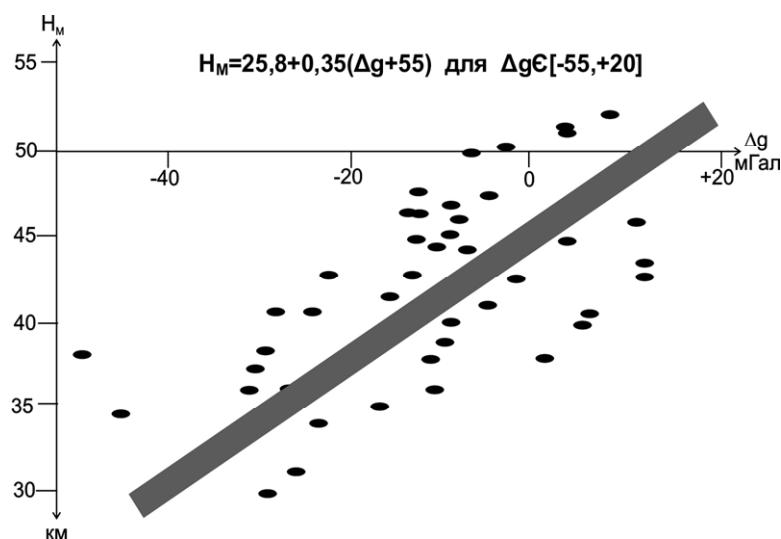
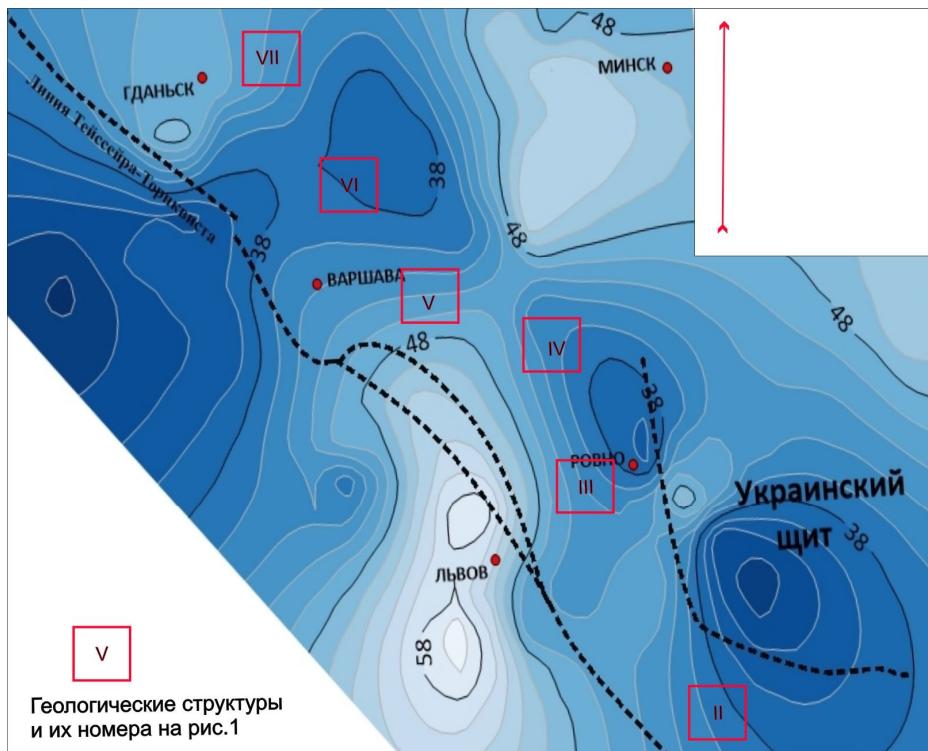


Рис. 7. Корреляция рельефа поверхности Мохоровичича (Мохо) H_M и гравитационного поля Δg

Fig. 7. Correlation of relief of surface of Mohorovitchich (Moho) H_M and gravitational field Δg

На рис. 8 показана картина рельефа поверхности Мохо по территории Балтийско-Приднестровского перикратонного опускания и сопредельных областей. Здесь видно, что БППО ярко контролируется тремя локальными поднятиями по поверхности Мохо, ориентированными вдоль БППО на северо-запад. Кроме того, специфическое поведение изогипс поверхности Мохо характеризует в целом падение поверхности Мохо на запад. В таблице приведена характеристика поведения рельефа поверхности Мохо для каждой из геологических структур, входящих в состав БППО. Отметим, что практически все геологические структуры накладываются на склоны локальных поднятий в основном на глубинах 38–40 км и лишь Мазурский выступ приурочен непосредственно к вершине локального поднятия (см. рис. 8).

В настоящее время имеется новый большой объем детальных геофизических материалов, способствующих уточнить глубинное строение Балтийско-Приднестровского перикратонного опускания и установить закономерности в отражении рельефа фундамента и тектонических структур в геофизических полях.



**Рис. 8. Рельеф поверхности Мохоровичича (Мохо) территории Балтийско-Приднестровского перикратонного опускания (БППО) и сопредельных областей по материалам работ [20, 21, 27, 28 и др.].
Обозначения те же, что и на рис. 3**

**Fig. 8. Relief of surface of Mohorovitchich (Moho) of territory of the of the Baltic- Priednestrovsk of pericraton lowering (BPPL) and contiguous areas, on materials of sources [20, 21, 27, 28 et al.].
The designations are the same as in fig. 3**

Список использованных источников

1. Павловский, Е. В. Зоны перикратонных опусканий – платформенные структуры первого порядка / Е. В. Павловский // Изв. Акад. наук СССР. – Сер. геол. – 1959. – № 12. – С. 3–9.
2. Косыгин, Ю. А. Типы основных структурных элементов земной коры в позднем докембрии / Ю. А. Косыгин // Геология и геофизика. – 1961. – № 1. – С. 16–26.
3. Муратов, М. В. Основные этапы тектонического развития Русской платформы / М. В. Муратов, М. Ф. Микунов, Е. С. Чернова // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1962. – № 11. – С. 3–35.
4. Богданов, А. А. Об основных структурных элементах земной коры / А. А. Богданов, М. В. Муратов, В. Е. Ханин // Бюл. МОИП. Отд. геол. – 1963. – № 3. – С. 3–32.
5. Зоненшайн, Л. П. О структурах, пограничных между платформами и геосинклинальными областями / Л. П. Зоненшайн, В. П. Поникаров, А. К. Уфлянд // Геотектоника. – 1956. – № 5. – С. 3–18.
6. Гарецкий, Р. Г. Типы структур молодых платформ Евразии / Р. Г. Гарецкий, А. Е. Шлезингер, А. Л. Яншин // Геотектоника. – 1965. – № 1. – С. 35–50.
7. Глушко, В. В. Основные черты тектоники Предкарпатского прогиба и прилегающей части Русской платформы / В. В. Глушко // Сборник Львовского геол. общества. – 1958. – № 5–6. – С. 7–24.
8. Днестровский перикратонный прогиб / В. В. Глушко [и др.] // Объяснительная записка к тектонической карте УССР и МССР м-ба 1 : 1 000 000. – Киев, 1972. – С. 41–46.
9. Хижняков, А. В. Строение зоны сочленения Восточно-Европейской платформы с ее геосинклинальным обрамлением на территории Молдавии, Украины и Польши / А. В. Хижняков // Материалы X конгресса КБГА. Тектоника. – Братислава : Геол. ин-т им. Штура, 1975. – С. 159–165.
10. Моргунов, Ю. Г. О Днепровско-Прутском перикратонном прогибе / Ю. Г. Моргунов // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1970. – № 10. – С. 22–28.
11. Хайн, В. Е. Региональная тектоника. Внеальпийская Европа и Западная Азия / В. Е. Хайн. – М. : Недра, 1977. – 359 с.
12. Гарецкий, Р. Г. Тектоническое положение территории Белоруссии и ее основные элементы / Р. Г. Гарецкий, Р. Е. Айзберг // Тектоника Белоруссии. – Минск : Наука и техника, 1976. – С. 7–10.

13. Балтийско-Приднестровская система перикратонных опусканий / Р. Г. Гарецкий [и др.] // Геология запада Восточно-Европейской платформы. – Минск : Наука и техника, 1981. – С. 44–60.
14. Геология запада Восточно-Европейской платформы. – Минск : Наука и техника, 1981. – 148 с.
15. Тектоника запада Восточно-Европейской платформы. – Минск : Наука и техника, 1990. – 168 с.
16. Зиновенко, Г. В. Балтийско-Приднестровская зона перикратонных опусканий / Г. В. Зиновенко. – Минск : Наука и техника, 1986. – 215 с.
17. Хоменко, В. И. Тектоническое районирование юго-запада Восточно-Европейской платформы и прилегающих территорий (по материалам геофизических исследований) / В. И Хоменко // Геология запада Восточно-Европейской платформы. – Минск : Наука и техника, 1981. – С. 7–14.
18. Кутас, Р. И. Тепловое поле зоны сочленения Восточно-Европейской платформы с молодыми структурами Средней Европы / Р. И Кутас // Геология запада Восточно-Европейской платформы. – Минск : Наука и техника, 1981. – С. 16–21.
19. Guterch A. Structure and physical properties of the Earth's crust in Poland in the light of new date of DSS / A. Guterch // Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci. – Warsaw, 1977. – A-4(115). – P. 347–357.
20. Строение земной коры и верхней мантии по данным сейсмических исследований. – Киев : Наукова думка, 1977. – С. 148–157; 158–170.
21. Соллогуб, В. Б. Литосфера Украины / В. Б. Соллогуб. – Киев : Наукова думка, 1986. – 183 с.
22. Grabowska, T. Deep structure of the Earth's crust in the Teisseyre-Tornquist zone (TTZ) in Poland, based on magnetic and gravity studies / T. Grabowska, A. Koblanski, J. Dolnicki // Europrobe symposium Jablonna. – 1991. – A-20 (255). – Warszawa, 1993. – P. 81–85.
23. Grad, M. The Moho depth map of the European Plate / M. Grad, N. Tiira ; ESC Working Group Geophys // J. Int. – 2009. – Vol. 176. – P. 279–292.
24. Guterh, A. Deep Structure of the Earth's Crust in the Kontakt Zone of the Palaeozoic and Precambrian Platforms in Poland (Tornquist-Teisseyre Zone) / A. Guterh, M. Grad, R. Materzok, E. Perchuc ; in D. A. Galson and S. Muller (Eds.) // The European Geotraverse. Part 2 : Tectonophysics. – 1986. – Vol. 128. – P. 251–279.
25. Guterh, A. Results of seismic crustal studies I Poland. 1969–1985 / A. Guterh, M. Grad, R. Materzok, E. Perchuc and S. Toporkiewicz // Publs. Inst Geophys. – 1986. – Pol. Acad. Sc. A-17, vol. 192. – P. 84.
26. Stephenson, R. Implications of tectonic subsidence models for crustal structure beneath the mid-pilish trough / R. Stephenson // Studia geophysica et geodaetica. – 1995. – Vol. 39. – No. 3. – Pp. 289–297.
27. Гравиметрическая карта СССР. Система 1971 года. 1 : 2 500 000 / 2-е изд. ; Мин-во геологии СССР ; ред.: П. П. Степанов, М. А. Янушевич. – 1990. – 16 л.
28. Krolikowski, C. Z. Analysis of gravity anomalies as related to the deep basement in the Teisseyre-Tornquist zone in northwestern Poland / C. Z. Krolikowski // Europrobe symposium Jablonna 1991. A-20 (255), – Warszawa, 1993. – P. 105–109.
29. Krolikowski C. Z. Map of the gravimetric units of Poland. 1 : 1 500 000. Gravimetric atlas of Poland / C. Z. Krolikowski, Z. Petrecki. – Warszawa, 1995.
30. Карта аномального магнитного поля (ΔT_a) России, сопредельных государств (в границах бывшего СССР) и прилегающих акваторий, эпоха 1964–1985 г. Масштаб 1 : 5 000 000 ; под ред. Т. П. Литвиновой. – СПб. : ВСЕГЕИ, 2000.
31. Карта аномального магнитного поля (ΔT_a) СССР, масштаба 1 : 2 500 000 ; под ред. З. А. Макаровой. – Л. : ВСЕГЕИ, 1974.
32. Краснопевцева, Г. В. Объемная глубинная модель земной коры Восточно-Европейской платформы по данным региональных сейсмических исследований / Г. В. Краснопевцева, Ю. К. Щукин // Региональная геология и металлогения. – СПб., 2000. – № 10. – С. 73–84.
33. Карадаев, Г. И. Геолого-математический анализ комплекса геофизических полей / Г. И. Карадаев, И. К. Пашкевич. – Киев : Наукова думка, 1986. – 168 с.

References

1. Pavlovskiy E. B. *Zoni pericratonikh opuskanii – platformennie structure pervogo poryadka* [Zones of pericraton lowering – platform structures of the first order]. Izv. AN SSSR, Ser. geol., 1959, no 12, pp. 3–9 (in Russian).
2. Kosigin Yu. A. *Tipi osnovnikh strukturnikh elementov zemnoy kori v pozdnem dokembrii* [Types of the main structural elements of the Earth's crust in the Late Precambrian]. Geologiya i geofizika, 1961, no 1, pp. 16–26 (in Russian).
3. Muratov M. V., Mikunov F. A., Chernova E. S. *Osnovnie etapi tektonicheskogo razvitiya Russkoy platformi* [Основные этапы тектонического развития Русской платформы]. Izv. Vuzov. Geoloigiya i razvedka, 1962, no 11, pp. 3–35 (in Russian).
4. Bogdanov A. A., Muratov M. B., Khain V. E. *Ob osnovnikh strukturnikh elementakh zemnoy kori* [About the main structural elements of the earth's crust]. Byul. MOIP. Otd. geol., 1963, no 3, pp. 3–32 (in Russian).
5. Zonenshain L. P., Ponikarov V. P., Ufland A. K. *O strukturakh, pogranichnikh mejdu platformami i eosinklinalnimi oblastyami* [On structures bordering between platforms and geosynclinal regions]. Geotektonika, 1956, no 5, pp. 3–18 (in Russian).
6. Garetskiy R. G. Shlezinger A. E., Yanshin A. L. *Tipi struktur molodikh platform* [Types of structures of young platforms in Eurasia]. Geotektonika, 1965, no 1, pp. 35–50 (in Russian).

7. Glushko V. V. *Osnovnie cherty tektoniki Predkarpatskogo progiba i prilegayuschej chasti Russkoy platform* [The main features of the tectonics of the Carpathian trough and the adjacent part of the Russian platform]. *Sbornik Lvovskogo geol. obschestva*, 1958, no 5–6, pp. 7–24 (in Russian).
8. Glushko V. V., Gurevich B. L., Trushkevich Z. T. et al. *Dnestrovskiy pericratonniy progib* [Dniester pericraton deflection]. *Obyasnitelnaya zapiska k tektonicheskoy karte USSR i MSSR m-ba 1 : 1 000 000* [Explanatory note to the tectonic map of the Ukrainian SSR and the Moldavian SSR on a scale of 1 : 1 000 000]. Kiev, 1972, pp. 41–46 (in Russian).
9. Khijniakov A. V. *Stroenie zoni sochleneniya Vostochno-Europeyskoy platformi s ee geosinklinalnym obramleniem na territorii Moldavii, Ukraini i Polshi* [The structure of the junction zone of the East European Platform with its geosynclinal framing on the territory of Moldova, Ukraine and Poland]. *Materiali X kongressa KBGA. Tektonika*. Bratislava, Geol. in-t name after Shtura, 1975, pp. 159–165 (in Russian).
10. Morgunov Yu. G. *O Dneprovsko-Prutskom pericratonnom progibe* [About the Dnieper-Prut pericraton trough]. *Izv. vuzov. Geologiya i razvedka*, 1970, no 10, pp. 22–28 (in Russian).
11. Khain V. E. *Regionalnaya tektonika. Vnealpiyskaya Evropa i Zapadnaya Aziya* [Regional tectonics. Extra-alpine Europe and Western Asia]. Nedra, 1977. 359 p. (in Russian).
12. Garetskiy R. G., Ayzberg R. E. *Tektonicheskoe polojenie territorii Belorussii i ee osnovnie elementi* [The tectonic position of the territory of Belarus and its main elements]. *Tektonika Belorussii*. Minsk, 1976, pp. 7–10 (in Russian).
13. Garetskiy R. G., Zinovenko G. V. et al (Eds). *Baltiysko-Pridnestrovskaya sistema perikranonnikh opuskanii* [Baltiysko-Pridnestrovskaya system of the pericratonnykh lowerings]. *Geologiy zapada Vostochno-Europeyskoy platformi*. Minsk, 1981, pp. 44–60 (in Russian).
14. *Geologiy zapada Vostochno-Europeyskoy platformi* [Geology of west of the Vostochno-Europeyskoy platform]. Minsk, 1981, 148 p. (in Russian).
15. *Tektonika zapada Vostochno-Europeyskoy platformi* [Tectonics of west of the Vostochno-Europeyskoy platform]. Minsk, 1990, p. 168 (in Russian).
16. Zinovenko G. V. *Baltiysko-Pridnestrovskaya zona perikranonnikh opuskanii* [Baltiysko-Pridnestrovskaya area of the pericratonnykh lowerings]. Minsk, 1986, 216 p. (in Russian).
17. Khomenko V. I. *Tektonicheskoe rayonirovanie yugo-zapada Vostochno-Europeyskoy platformi i prilegayuchikh territorii (po materialam geofizicheskikh issledovanii)* [Tectonic districting of south-west of the Vostochno-Europeyskoy platform and adjoining territories (on materials of geophysical researches]. *Geologiy zapada Vostochno-Europeyskoy platformi*. Minsk, 1981, pp. 7–14 (in Russian).
18. Kutas R. I. *Teplovoe pole zoni sochleneniy Vostochno-Europeyskoy platformi s molodimi structurami Sredney Evropi* [Thermal field of area of coarticulation of the Vostochno-Europeyskoy platform with the young structures of Middle Europe]. *Geologiy zapada Vostochno-Europeyskoy platformi*. Minsk, 1981, pp. 16–21 (in Russian).
19. Guterh A. Structure and physical properties of the Earth's crust in Poland in the light of new date of DSS. *Pub. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sci. Warsaw*, 1977, A-4(115), pp. 347–357.
20. *Stroenie zemnoy kori i verkhney mantii po dannim seysmicheskikh issledovanii* [Structure of the earth's crust and overhead mantle from data of seismic researches]. Kiev, 1987, pp. 148–157; 158–183 (in Russian).
21. Sollogub V. B. *Litosfera Ukraini* [Lithosphere of the Ukraine]. Kiev, 1986, 183 p. (in Russian).
22. Grabowska T. Deep structure of the Earth's crust in the Teisseyre-Tornquist zone (TTZ) in Poland, based on magnetic and gravity studies. *Europrobe symposium Jablonna* 1991. A-20 (255), 1993. Warszawa, pp. 81–85.
23. Grad M. The Moho depth map of the European Plate. *J. Int.* 2009, vol. 176, pp. 279–292.
24. Guterh A. Deep Structure of the Earth's Crust in the Kontakt Zone of the Palaeozoic and Precambrian Platforms in Poland (Tornquist-Teisseyre Zone). *The European Geotraverse. Part 2 : Tectonophysics*, 1986, vol. 128, pp. 251–279.
25. Guterh A. Results of seismic crustal studies I Poland. 1969–1985. Publs. Inst Geophys, 1986. Pol. Acad. Sc. A-17, vol. 192, p. 84.
26. Stephenson R. Implications of tectonic subsidence models for crustal structure beneath the mid-pilish trough. *Studia geophysica et geodaetica*. 1995, vol. 39, no 3, pp. 289–297.
27. *Gravimetricheskaya karta SSSR. Sistema 1971 goda. 1 : 2 500 000*. Izd. 2-e. Ministerstvo geologii SSSR [Gravimetric map of the USSR. System of 1971 year]. Redaktory P. P. Stepanov, M. A. Yanushevich. 1990. 16 listov (in Russian).
28. Krolkowski C. Z. Analysis of gravity anomalies as related to the deep basement in the Teisseyre-Tornquist zone in northwestern Poland. *Europrobe symposium Jablonna* 1991. A-20 (255), Warszawa, 1993, pp. 105–109.
29. Krolkowski C. Z., Petrecki Z. Map of the gravimetric units of Poland. 1 : 1 500 000. Gravimetric atlas of Poland. Warszawa, 1995.
30. *Karta anomalnogo magnitnogo polya (ΔT)_a Rossii, sopredelnikh gosudarstv (v granicakh bivshego SSSR) I prilegayushikh akvatori, epokha 1964,5 g. Masshtab 1 : 5 000 000 ; pod red. T. P. Litvinovoy* [Map of the anomalous magnetic field (ΔT) of the Russia]. Sankt-Peterburg, VSEGEI, 2000 (in Russian).
31. *Karta anomalnogo magnitnogo polya (ΔT)_a SSSR masshtaba 1 : 2 500 000 ; pod red. Z. A. Makarovoy* [Map of the anomalous magnetic field (ΔT) of the USSR]. Leningrad, VSEGEI, 1974 (in Russian).
32. Krasnopolceva G. V., Schukin Yu. K. *Obezmnaya glubinnaya model Vostocho-Europeyskoy platformi po dannim regionalnikh seysmicheskikh issledovanii* [Combustion Ground Eyelash Model of the Eight-European Platform on Detected Seismic Investigations]. *Regionalnaya geologiya i tectonika*. Sankt-Peterburg, 2000, no 10, pp. 73–84 (in Russian).
33. Karataev G. I., Pashkevich I. K. *Geologo-matematicheskiy analiz kompleksa geofizicheskikh poley* [Geological and mathematical analysis of a complex of geophysical fields]. Kiev, 1986, 168 p. (in Russian).

Информация об авторах

Гарецкий Радим Гаврилович – академик, д-р геол.-минерал. наук, иностранный член Рос. акад. наук, профессор, гл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь)

Каратайев Герман Иванович – д-р геол.-минерал. наук, академик Междунар. акад. энергoinформ. наук, профессор, гл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: german031031@gmail.com

Голобоков Сергей Викторович – вед. инженер, Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: serggolobokov48@gmail.com

Сушкевич Сергей Леонидович – мл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: sergey-sushkevich1@gmail.com

Хибиев Артур Курбанович – мл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: loter_mc@mail.ru

Information about the authors

Radim G. Garetsky – D.Sc. (Geology and Mineralogy), Academician, foreign member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Chief Research, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus)

German I. Karatayev – D.Sc. (Geology and Mineralogy), Academician of the International Academy of Energy Informative Sciences, Professor, Chief Research, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: german031031@gmail.com

Sergey V. Golobokov – Leading Engineer, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: serggolobokov48@gmail.com

Sergey L. Sushkevich – Junior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: sergeysushkevich1@gmail.com

Artur K. Khibilev – Junior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: loter_mc@mail.ru

АСТЕНОСФЕРА – ВЕДУЩИЙ ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ТЕКТОНОСФЕРЫ ПРИПЯТСКОГО И ДНЕПРОВСКОГО ГРАБЕНОВ

Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. На основании комплексной геологической интерпретации сейсмических и сейсмо-плотностных разрезов литосферы, полученных по материалам геотраверсов ГСЗ МОГТ VIII-VIII и ГСЗ Георифт-2013, свидетельствующих о существенной разнице глубинного строения Припятского и Днепровского прогибов, предложена тектонофизическая модель формирования тектоносферы Припятского и Днепровского грабенов (прогибов), базирующаяся на конвективную модель динамики магматического вещества, соответственно, двух астеносферных линз с участием процесса фазового перехода внедряющегося в земную кору базальтоидного магматического вещества по схеме габбро-гранатовые гранулиты-эклогит.

Ключевые слова: литосфера; тектоносфера; сейсмический разрез; плотностной разрез; гравитационное поле; конвекция; глубинные разломы.

Для цитирования. Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И. Астеносфера – ведущий фактор формирования тектоносферы Припятского и Днепровского грабенов // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 146–153.

AN ASTENOSPHERE IS A LEADING FACTOR OF FORMING OF TEKTONOSFERY OF THE PRIPYAT AND DNEPR GRABENS

R. G. Garetsky, G. I. Karataev

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

Abstract. On the basis of complex geological interpretation of seismic and seismo-density section of lithosphere, got on materials of geotravers GSS MOGT VIII-VIII and GSS Georift-2013, testifying to substantial difference of deep structure of the Pripyat and Dnepr grabens the tektono-physical model of forming of tektonosfery of the Pripyat and Dnepr grabens is offered. A model is based on the konvektive dynamics of magmatic matter accordingly two lenses of astenosphere. Thus the process of phase transition participates inculcated in the earth's crust of magmatic matter on a chart gabbro- pomegranate granulity-eklogit.

Key words: lithosphere; tektonosfera; seismic section; density section; gravity field; convection; deep faults.

For citation. Garetsky R. G., Karataev G. I. An astenosphere is a leading factor of forming of tektonosfery of the Pripyat and Dnepr grabens. *Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 146–153.

По материалам комплексной геологической интерпретации геофизических данных отмечается, что строение консолидированной земной коры Припятского палеорифта в субширотном направлении неоднородно [1]. Для уточнения особенностей глубинного строения земной коры Припятского палеорифта и Брагинско-Лоевской седловины и их сочленения с Днепровским палеорифтом в 2013 г. в рамках международного профиля «Георифт-2013» по линии Несвиж–Брагин–Чернигов–Полтава (Беларусь–Украина) были проведены глубинные сейсмические зондирования (ГСЗ). Профиль пересекает следующие структуры: Припятский грабен, Брагинский выступ, Днепровский грабен (рис. 1).

Сейсмический профиль был отработан силами организаций пяти стран. В состав международной рабочей группы входили: Беларусь – Р. Айзберг, Р. Гарецкий, Г. Каратаев, Я. Грибик (Институт природопользования НАН Беларуси, Минск), С. Полещук, В. Рекова (Научно-производственный центр по геологии Минприроды Беларуси); Украина – В. Старostenко, В. Омельченко, О. Легостаева, Д. Лысынчук, К. Коломиец, Д. Гринь (Институт геофизики НАН Украины, Киев), А. Толкунов (ГГП «Укргеофизика», Киев); Польша – Т. Яник, В. Чуба, П. Шрода, А. Гутерх (Институт геофизики ПАН, Варшава); Дания – Х. Тибо (Университет г. Копенгагена); Финляндия – Т. Тиира, К. Коминахо (Университет г. Хельсинки). Материалы сейсмического разреза вдоль геотрансекта Георифт-2013 были неоднократно представлены на международных конференциях [2].

На рис. 1 показан исходный сейсмический разрез литосферы по профилю Георифт-2013.

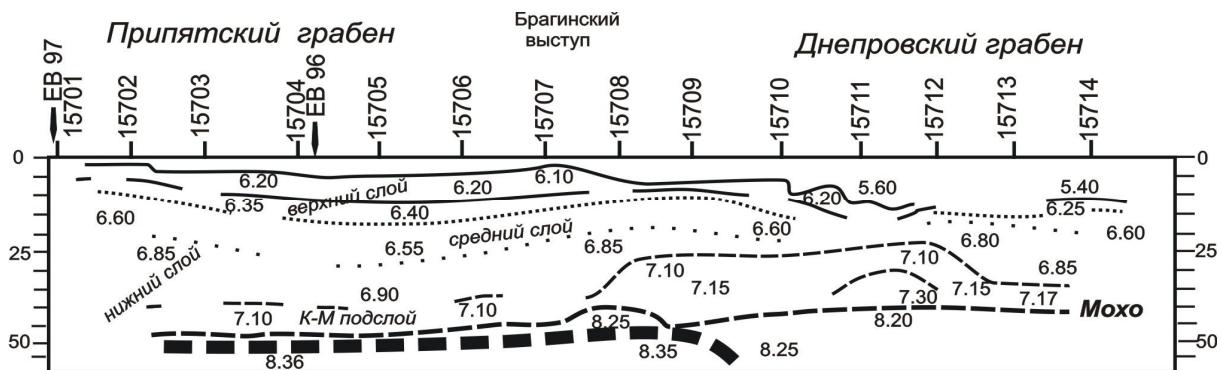


Рис. 1. Скоростной сейсмический разрез литосферы по профилю Несвиж–Брагин–Чернигов–Полтава геотрансекта Георифт–2013 [2, 3]

Fig. 1. Speed seismic section of lithosphere along profile DSS Nesvij–Bragin–Chernigov–Poltava geotranssects Georift–2013 [2, 3]

На рис. 1 **верхний** слой земной коры в западной (белорусской) части профиля до сейсмической границы 6,35 (6,40), в восточной части до 6,25 км/с интерпретируется как «гранитный слой», **средний** слой между сейсмическими границами 6,25–6,85 км/с – как «диоритовый» слой и **нижний** слой между сейсмическими границами со скоростями 6,80–6,90 и 8,20–8,25 км/с – как «базальтовый» слой; в низах земной коры выделен **подслой** со скоростями 7,10–7,17, 7,30 км/с, условно интерпретируемый нами как слой коро-мантийной смеси [4, 5]; поверхность Мохо проведена по скоростной границе 8,20–8,25 км/с. На профиле в верхней мантии под поверхностью Мохо зафиксирована сейсмическая граница со скоростью сейсмических волн 8,35 км/с, которая резко падает при переходе от Брагинского выступа к Днепровскому грабену, интерпретируемая как глубинный разлом мантийного заложения со скоростями 8,35–8,36 км/с.

На рис. 2 для западной (белорусской) части профиля дан сейсмо-плотностной разрез тектоносферы, построенный нами по результатам сейсмо-гравитационного моделирования.

На сейсмическом профиле Георифт–2013 видно весьма существенное различие в структуре литосферы Припятского и Днепровского прогибов, разделенных в верхней мантии глубинным разломом юго-восточного падения, возможно достигающим верхов астеносферного слоя и являющегося каналом поступления горячего астеносферного вещества в нижнюю кору, обеспечивающего формирование в низах коры слоя коро-мантийной смеси, о чем свидетельствуют как сейсмические данные [4, 5], так и материалы интенсивного вулканизма [6].

В целом для сейсмического разреза профиля Георифт–2013 следует отметить две особенности: существенную неоднородность среды в латеральном направлении и высокую вертикально-градиентную скорость картину. Прежде всего, следует отметить яркое различие картины волнового поля для белорусской и украинской частей профиля – северо-западнее и юго-восточнее относительно пункта взрыва (ПВ) 15708. В зоне этого сейсмического пункта по всему разрезу резко выражен горизонтальный градиент сейсмических скоростей, который можно интерпретировать глубинным разломом. В геологическом отношении эти различия разреза присущи Припятскому и Днепровскому грабенам относительно зоны их сочленения – Брагинского выступа (Черниговского относительного поднятия).

Для белорусской части профиля характерно последовательное увеличение с глубиной скоростей сейсмических волн как в земной коре, так и в верхней мантии, свидетельствующее о вертикально-градиентном увеличении плотности вещества. На украинской части профиля вертикально-градиентная среда отмечается только в пределах земной коры, но с более повышенным градиентом; верхняя мантия здесь сейсмически однородна. И мощности земной коры для этих частей профиля различаются практически на 5 км: в западной части профиля – 45 км, в восточной части профиля – 40 км. Все это свидетельствует о различии тектонофизической природы формирования Припятского и Днепровского грабенов.

Следует поддержать современные представления о ведущей роли тепловой конвекции, возникающей за счет радиоактивного распада калия, урана и тория, содержащихся в земной коре и верхней мантии, а также гравитационной дифференциации глубинного вещества при формировании впадин северо-западной части Сарматско-Турецкого линеамента. Этот процесс, реализуемый с вертикально направленным тепломассобменом, который трансформируется под воздействием астеносферных диапиров в последовательную цепь сопряженных в пространстве и времени режимов

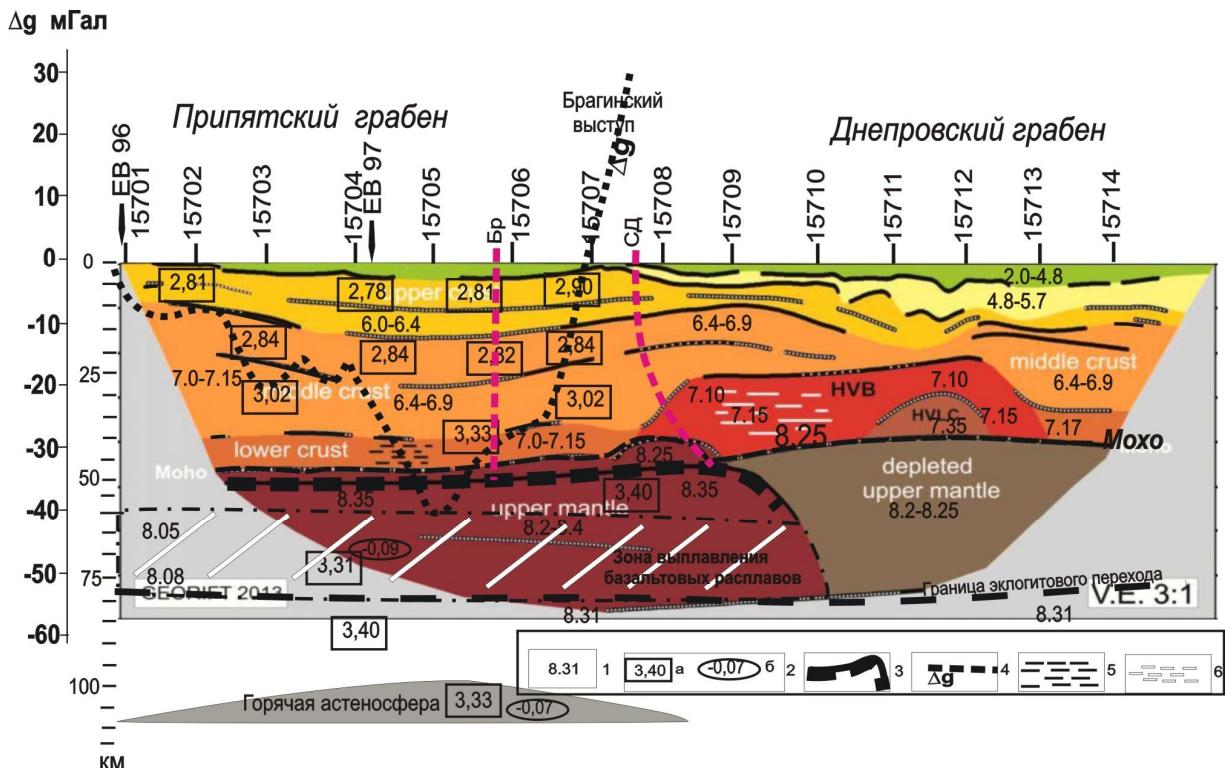


Рис. 2. Сейсмо-плотностной разрез тектоносферы вдоль западной (Белорусской) части геотрансекта Георифт–2013: 1 – скорости продольных сейсмических волн, км/с; 2 – плотности пород, г/см³ (а – абсолютные значения, б – аномальная плотность); 3 – резко выраженная сейсмическая граница – 8,35 км/с; 4 – график гравитационных аномалий; 5 – зона сгущение отражающих сейсмических площадок; 6 – зона высоких сейсмических скоростей; разломы: СД – Среднеднепровский, Бр – Брагинский

Fig. 2. By a seismic gravity modeling section of tektonosfery along western (Byelorussian) part of geotransekt Georift–2013: 1 – are velocity of longitudinal seismic waves, km/s; 2 – density rock, g/sm³: (a – and are absolute values, b – is an anomalous density); 3 – the sharply expressed seismic border – 8,35 km/s; 4 – is chart of gravity anomalies; 5 – it condensing of reflecting seismic grounds; 6 – is an area of seismic high-rate, fault: SD – Srednedneprovskiy, Br – Braginskiy

сжатия и растяжения, перемещения отдельных плит и блоков в вертикальном, горизонтальном и более сложном направлениях [7–9 и др.], имея в виду отмеченную разнородность сейсмического поля вдоль профиля Георифт–2013, можно предположить, что в формировании Припятского и Днепровского грабена принимали участие различные по интенсивности, флюидоотдачи и магматическому потенциалу астеносферные диапирсы [4, 5].

О состоянии вещества в зоне перехода земная кора–верхняя мантия в настоящее время преvalируют два представления: гипотеза фазового перехода габбро-гранатовые гранулиты–эклогит и гипотеза коро-мантийной смеси. Для Припятского и Днепровского грабенов в настоящее время в литературе опубликованы два мнения о состоянии вещества в зоне перехода земная кора–верхняя мантия: коро-мантийный подслой (см. рис. 1, 2) в обоих грабенах образовался): 1) в результате фазового перехода габбро-гранатовые гранулиты–эклогит в процессе интенсивного погружения прогибов в позднем девоне и карбоне и внедрения в нижнюю кору плотных пород основного состава [10, 11]; 2) по канонам формирования коро-мантийной смеси [4, 5, 12].

Согласно первой гипотезе, выделяемые в нижней коре непосредственно над поверхностью Мохо слои со скоростями 6,8–7,17 км/с характерны для пород основного состава – базальтов, которые в физико-химических условиях нижней коры существуют в форме габбро, которые при повышенной температуре переходят в гранатовый гранулит и эклогит [10, рис. 1.11, 1.12]. Габбро, обладая плотностью 2,9–3,0 г/см³, сначала преобразуется в гранатовые гранулиты с плотностью 3,1–3,4 г/см³, а затем в эклогиты с плотностью 3,5–3,6 г/см³. При этом следует иметь в виду, что эклогит имеет более высокую плотность, поэтому в процессе сжатия коры он погружается в нижние слои верхней мантии, уплотняя их, а поверхность Мохо погружается в силу законов изостазии. Именно такой эффект в разрезе литосфера мы наблюдаем на левой части профиля под Припятским грабеном: последовательное увеличение скорости сейсмических волн (соответственно, уплотнение вещества) в зоне перехода

земная кора–верхняя мантия, где ярко выражена вертикальная градиентность скоростей от изолинии 7,10 км/с в нижнем слое коры до изолинии 8,35 км/с, контролирующей границу Мохо.

Однако поскольку астеносфера близко не подходила к подошве коры (о чем свидетельствуют данные работы [6] об интенсивном вулканизме, источник которого находился на глубине 70–100 км, то быстрое погружение коры в позднем девоне и карбоне может быть обусловлено только быстрой миграцией базальтоносного флюида в нижнюю кору [4, 5], который поступал в нее из небольшой астеносферной линзы, расположенной, возможно, на глубине 70–100 км. Быстрое погружение коры способствует возрастанию скорости фазового перехода габбро–эклогит, в результате которого в низах коры сформировался гранатово-гранулитовый слой со скоростями сейсмических волн порядка 7,10–7,30 км/с.

Поэтому для зоны земная кора–верхняя мантия Припятского палеорифта вполне можно принять, что она формировалась на основании фазового перехода габбро-гранатовые гранулиты–эклогит пород основного состава (базальтов), внедренных в нижний слой земной коры, контролируемый изолинией сейсмической скорости 7,10 км/с, в процессе интенсивного погружения коры в позднем девоне и карбоне. В этом аспекте можно предложить следующую модель тектоносферы для Припятского грабена (рис. 3, см. рис. 2)

Рассмотрим теперь вторую гипотезу. Коро-мантийная смесь может образовываться двумя путями при значительном подъеме астеносферного диапира: либо в результате внедрения в нижнюю кору перидотитовых магм или путем интрузии основных магм в мантию под корой. В первом варианте коро-мантийная смесь должна содержать перидотит и габбро в процентном соотношении, привязанном к значениям скоростей сейсмических волн. Внедрение перидотитовой магмы происходит при температурах около 1500 °C в процессе растяжения коры, обусловленной эрозией нижней коры конвективными течениями в астеносферном диапире. В сущности, по такому сценарию происходит формирование нижнего, «базальтового», слоя земной коры. Во втором варианте коро-мантийная смесь образуется за счет внедрения в подкоровый слой мантии крупных объемов базальтовой магмы, кристаллизующейся в форме габбро. Процесс формирования коро-мантийной смеси сопровождается интенсивным базальтовым вулканизмом при неглубоком залегании астеносферного слоя.

С «коро-мантийной» точки зрения обратимся к материалам профиля ГСЗ ОГТ VIII-VIII, секущего профиль Несвиж–Брагин в районе ПВ 15704 (см. рис. 2) [4, 5].

На данном сейсмическом разрезе констатируется подъем астеносферного диапира близко к подошве коры, что, в условиях растяжения коры, способствует интенсивному излиянию магмы в нижние слои коры и проявлению вулканизма. Интерпретируемая Р. Г. Гарецким и С. В. Клушиным положение поверхности Мохо (M_1) на этом профиле практически совпадает с глубиной залегания изолинии скоростей 7,10 км/с на профиле Несвиж–Брагин (см. рис. 2), а поверхность M_2 практически блика к поверхности Мохо, отображаемой на сейсмических разрезах как по профилю Несвиж–Брагин, так и по геотрансекту ЕвроБридж-97 [13]. Слой между M_1 и M_2 Р. Г. Гарецкий и С. В. Клушин интерпретируют как слой коро-мантийной смеси. На упомянутых же профилях ГСЗ этот слой характеризуется как нижняя кора (lower crust). По данным ОГТ рассматриваемый слой земной коры характеризуется специфической субгоризонтальной (кстати, редко выявляемой методом ОГТ) слоистостью

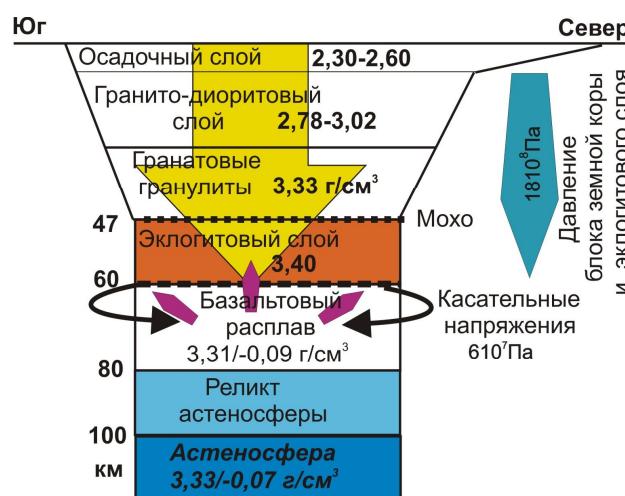


Рис. 3. Физико-геологическая модель тектоносферы Припятского прогиба

Fig. 3. Tectono-geodynamic phisycs model of tektonosfery of the Pripyat graben

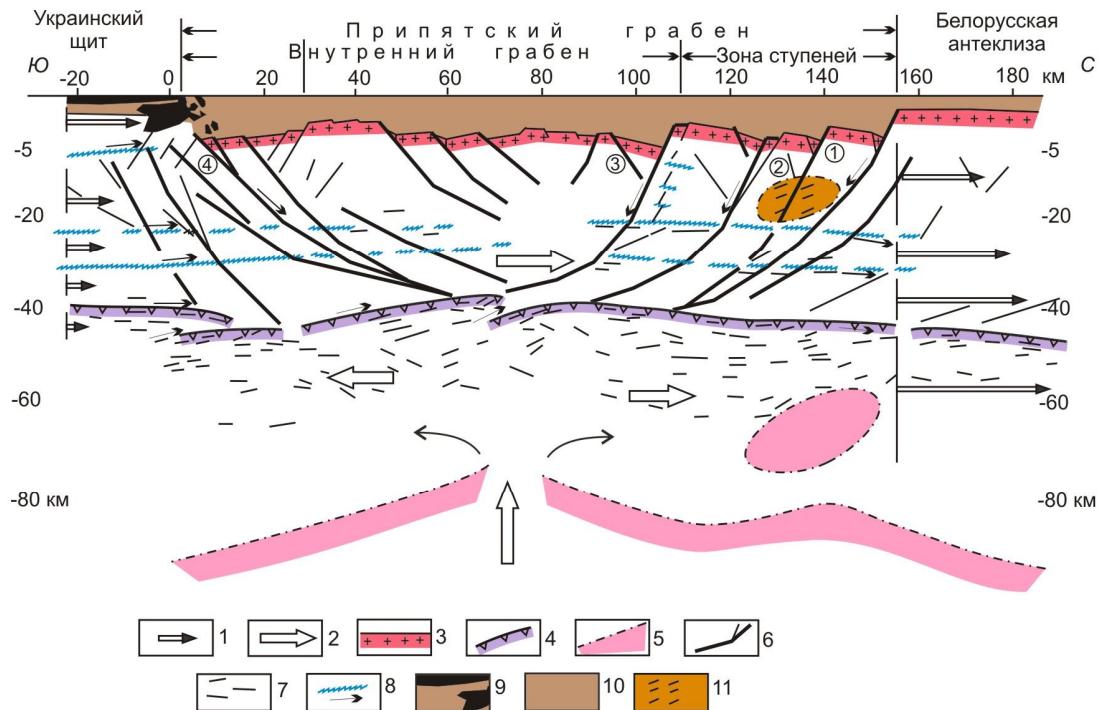


Рис. 4. Обобщенные по профилям ГСЗ ОГТ (III–III, VIII–VIII, XXII–XXII) сейсмогеологическая и геодинамическая модели поперечного разреза Припятского прогиба [4, 5]: 1 – векторы смещения пластин внутри литосферы; 2 – направление действия сил: астеносферного диапира (вертикальная стрела), его надастеносферных доставляющих (горизонтальные стрелы); 3 – поверхность фундамента; 4 – поверхность Мохо – М1 и М2; 5 – астеносферные диапир и линза; 6 – листрические разломы; 7 – сейсмические отражающие площадки – слой коро-мантийной смеси; 8 – условные границы пластин внутри литосферы; 9 – предполагаемые надвиги кристаллических пород фундамента на осадочные отложения; 10 – осадочный чехол; 11 – трещинные разуплотнения

Fig. 4. Generalized on the types of DSS OGT (III–III, VIII–VIII, XXII–XXII) seismic and geodynamic models of transverse section of the Pripyat graben [4, 5]: 1 – are vectors of displacement of plates into a lithosphere; 2 – is direction of action of forces: astenosfers diapir (vertical arrow), him of constituents (horizontal arrows); 3 – is a surface of foundation; 4 – is a surface of Moho – M1 and M2; 5 – astenosfers diapir and lens; 6 – are listricheskie fault a secret; 7 – seismic reflecting grounds are a layer of crust-mantle of mixture; 8 – are conditional scopes of plates into a ithosphere; 9 – are supposed thrust of crystalline rock of foundation on sedimentary deposits; 10 – is an sedimentary cover; 11 – are crack thinning

отражающих площадок. Нам представляется, что такая картина расположения практически горизонтальных отражающих сейсмических площадок, может быть связана с воздействием на вещество зоны перехода особенностями астеносферного процесса, заключающегося в квазигоризонтальной эрозии нижней коры расползающимися конвективными течениями в мантии при значительном подъеме астеносферного диапира. На основании этого можно полагать, что вещество слоя земной коры – верхняя мантия между изолиниями скоростей 7,10–8,35 км/с на профиле Несвиж–Брагин, вполне отвечает гипотезе формирования зоны перехода как слоя «коро-мантийной смеси», образованного, путем внедрения в нижнюю кору ультраосновных магм при высокой температуре. При этом следует предполагать, что астеносферный слой подошел близко к подошве земной коры (что, практически, исключается результатами сейсмо-гравитационного моделирования, см. рис. 2).

Что касается интерпретации сейсмических данных по украинской части профиля ГСЗ Георифт–2013 для Днепровского грабена, то здесь необходимо заметить следующее. Во-первых, поверхность Мохо приподнята относительно левой части профиля до глубин 40 км. Во-вторых, над поверхностью Мохо фиксируется очень мощный слой со скоростями 7,0–7,17 км/с. В-третьих, наблюдается сейсмическая, а вместе с тем и плотностная однородность подкорового вещества. В-четвертых, имеет место высокая степень вертикальной градиентности скоростей выше изолинии 7,10 км/с. Рассматриваемый сейсмический разрез этой частим профиля Георифт–2013 практически полностью подтвердил глубинное строение Днепровско-Донецкого палеорифта вдоль профиля ГСЗ Киев–Гомель [12].

Учитывая перечисленные сейсмические факторы, формирование на данном участке профиля между ПВ-15708 и ПВ-15711 мощного слоя пород со скоростями 7,10–7,18 км/с в нижней коре, скорее всего, можно объяснить следующим сценарием. Флюидо-магматические процессы высвобождения энергии Днепровского астеносферного диапира, по-видимому, способствовали внедрению в нижнюю кору значительных масс пород ультраосновного состава, которые, перемешиваясь и ассимилируя исходные породы этого слоя, образовали своего рода слой коро-мантийной смеси перidotита и габбро. При этом Днепровский астеносферный диапир «выработал» весь свой флюидо-магматический потенциал; поэтому в верхней мантии мы не обнаруживаем каких-либо плотностно-сейсмических нейтронодностей.

Теперь о зоне сочленения Припятского и Днепровского грабенов – Брагинском выступе (см. рис. 2). Брагинский выступ является наиболее приподнятой южной частью субмеридиональной Брагинско-Лоевской седловины, разделяющей основные платформенные структуры региона – Припятский и Днепровский грабены. Брагинский выступ ограничен разломами: с запада – Лоевским, с востока – Среднеднепровским. А. В. Чекунов с соавторами предположительно обоснували Лоевский разлом как левосторонний сдвиг [14]. Реконструкция синклифовых напряжений в пределах Припятского прогиба и на Брагинском выступе позволила выполнить независимое обоснование левосдвиговой природы Лоевского разлома и выделить правосторонний сдвиг вдоль Среднеднепровского разлома – участка сопряжения седловины с Днепровским грабеном [15]. Брагинский выступ, ограниченный с запада и с востока левосторонним и правосторонним сдвигами соответственно, выполнял роль клина вдавливания (блок-штампа), вектор горизонтального сжатия которого был направлен с юга (со стороны Украинского щита) на север.

Согласно динамике формирования штамповой структуры, в ее тыловой части создавался участок поперечного и продольного сжатия, а во фронтальной части – продольного растяжения. Последняя обладала свойствами повышенной деструкции земной коры в результате наложения на региональное поле поперечного синклифового растяжения дополнительных локальных продольных растягивающих напряжений. Брагинский выступ и субвертикальная зона подстилающей его консолидированной коры и верхнемантийного наклонного волновода стали центром шарнирного излома Припятско-Днепровско-Донецкой рифтовой системы с тенденцией горизонтального вращения и клинообразного раскрытия отдельных ее сегментов. Общий геодинамический механизм формирования Припятско-Донецкого авлакогена с учетом вращения блоков земной коры был предложен ранее А. В. Чекуновым [16]. Этот вывод также нашел дополнительное подтверждение применительно к оценке роли Брагинско-Лоевской седловины. Было показано, что она являлась основной осью вращения Припятского сегмента – против часовой стрелки с раскрытием его на запад на 20°, а Днепровского сегмента – по часовой стрелке с раскрытием на восток на 10°. На это указывает асимметричный характер растяжения Припятского грабена в направлении с востока на запад, отраженный в типах синклифовых полей напряжений. Региональное поле является сдвигово-раздвиговым; при этом западный сектор Припятского грабена (кроме центриклинальных депрессий) формировался в режиме напряжений раздвигового типа [15].

Вернемся к Брагинскому выступу, фиксируемому на сейсмическом разрезе между ПВ-15706 и ПВ-15708. Фундамент Брагинского выступа характеризуется метаморфическим комплексом палеоархей-кулажинской серии, представленной гнейсами биотитовыми и гранат-биотитовыми с редкими прослойками амфибол- и гиперстен-биотитовых гнейсов и амфиболитов. В центральной его части выделяется структура мигматит-гранитогнейсового ультраметаморфического и магматического комплекса палеопротерозоя. Все это свидетельствует о значительной переработке земной коры массива в процессе его формирования.

Обобщая изложенные материалы, мы полагаем, что формирование литосферы вдоль профиля Георифт-2013 связано с конвекцией мантийного вещества двух независимых астеносферных линз – Припятской и Днепровской – в рамках тепловой конвекции Туркотта и Оксбурга [7]. Суть этой модели конвекции заключается в следующем: «На горячей нижней и холодной верхней границах формируются тонкие пограничные слои. Когда два горячих слоя, принадлежащих смежным ячейкам, встречаются, они отделяются от границы и образуют горячий восходящий поток... По достижении горячим потоком холодной верхней границы он резко охлаждается... и переходит в холодный пограничный, расположенный вдоль верхней границы. Соответственно этому смежные холодные пограничные слои, встречаясь, образуют нисходящий холодный поток [7, с. 121].

Полагая, что в формировании Припятского и Днепровского грабенов важнейшую роль играли для каждого из них свои астеносферные диапиры, образование Брагинского выступа можно отнести к тектонофизическому процессу «вырезания» в низах литосферы и подъема (выталкивания вверх) гранулитового массива в процессе встречных нисходящих потоков астеносферного вещества того и другого прогибов (рис. 5, см. рис. 2).

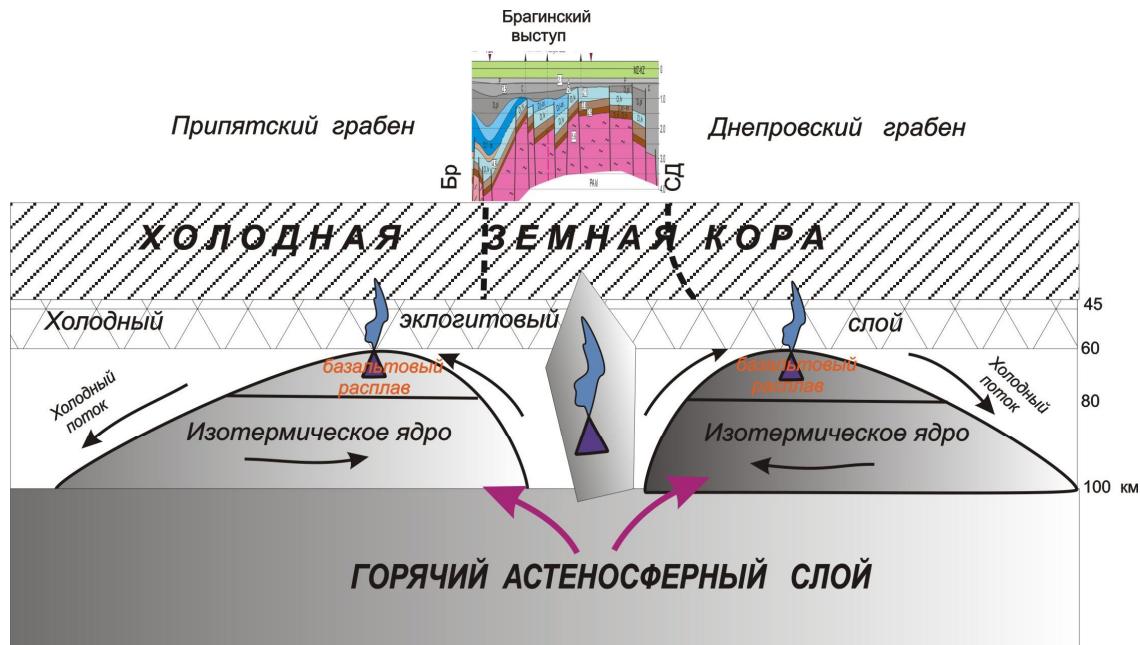


Рис. 5. Тектонофизическая конвективная модель формирования Припятского и Днепровского грабенов

Fig. 5. Tectonophysics convective model of formation of the Pripyat and Dnieper Graben

Список использованных источников

1. Garetsky, R. G. Seismic velocity structure across the Fennoscandia-Sarmatia suture of the East European Craton beneath the EUROBRIDGE profile through Lithuania and Belarus / R. G. Garetsky, G. I. Karataev, G. I. Zlotski, V. N. Astapenko, A. A. Belinsky, V. V. Terletsky and Eurobridge seismic working group. – 1999. Tectonophysics 314. – P.193–217.
2. Starostenko, V. The Georift 2013 wide-angle seismic profile, preliminary results / V. Starostenko [et al.] // Seismix 2016: seismology at the crossroads. Abstract Volume. 17th International Seismix Symposium. Macdonald Aviemore. Scotland, 15–20 may, 2016. – P. 147.
3. Lithosperic structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat–Dniepr–Donets Basin (Belarus and Ukraine) / V. Starostenko [et al.] // Geophysical J. – Int. 2017. – № 24. – P. 1–31.
4. Гарецкий, Р. Г. Глубинное строение Припятского палеорифта / Р. Г. Гарецкий, С. В. Клушин // Докл. Акад. наук СССР. – 1987. – Т. 297, № 6. – С. 1438–1442.
5. Гарецкий, Р. Г. Листрические разломы в Припятском палеорифте / Р. Г. Гарецкий, С. В. Клушин // Геотектоника. – 1989. – № 1. – С. 49–60.
6. Корзун, В. П. Верхнедевонские щелочные вулканогенные формации Припятского бассейна / В. П. Корзун, А. С. Махнач. – Минск : Наука и техника, 1977. – 163 с.
7. Жарков, В. Н. Физика планетарных недр / В. Н. Жарков, В. П. Трубицин. – М. : Наука, 1980. – 448 с.
8. Красовский, С. С. Отражение динамики земной коры континентального типа в гравитационном поле / С. С. Красовский. – Киев : Наукова думка, 1981. – 264 с.
9. Оровецкий, Ю. П. Горячие пояса Земли / Ю. П. Оровецкий, В. П. Коболев. – Киев : Наукова думка, 2006. – 311 с.
10. Артюшков, Е. В. Физическая тектоника / Е. В. Артюшков. – М. : Наука, 1993. – 455 с.
11. Яншин, А. Л. Основные типы крупных структур литосферных плит и возможные механизмы их образования / А. Л. Яншин, Е. В. Артюшков, А. Е. Шлезингер // Докл. Акад. наук СССР. – 1977. – Т. 234, № 5. – С. 1175–1179.
12. Соллогуб, В. Б. Литосфера Украины / В. Б. Соллогуб. – Киев : Наукова думка, 1986. – 184 с.
13. Thybo, H. Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripyat Trough and the Ukrainian Shield along the EUROBRIDGE-97 profile / H. Thybo [et al.] // Tectonophysics 371. – 2003. – P. 41–79.
14. Чекунов, А. В. О раздвигании и вращении блоков земной коры при формировании Днепровско-Донецкого авлакогена / А. В. Чекунов // Геол. журн. – 1976. – № 1. – С. 123–127.
15. Айзберг, Р. Е. Синрифтовая геодинамика Припятского прогиба / Р. Е. Айзберг, Т. А. Старчик. – Минск : Беларусская наука, 2013. – 146 с.
16. Чекунов, А. В. Глубинное строение и нефтегазоносность Днепровско-Донецкого палеорифта / А. В. Чекунов, Л. Т. Калюжная, Л. И. Рябчун // Рифтогенез и нефтегазоносность. – М. : Наука, 1993. – С. 16–24.

References

1. Garetsky R. G., Karataev G. I., Zlotski G. I., Astapenko V. N., Belinsky A. A., Terletsky V. V. et al. Eurobridge seismic working group. Seismic velocity structure across the Fennoscandia-Sarmatia suture of the East European Craton beneath the EUROBRIDGE profile through Lithuania and Belarus. *Tectonophysics* 314, 1999. Pp. 193–217.
2. Starostenko V., Janik T., ..., Garetskiy R., Karataev G. et al. The Georift 2013 wide-angle seismic profile, preliminary results // Seismix 2016: seismology at the crossroads. Abstract Volume. 17th International Seismix Symposium. Macdonald Aviemore. Scotland. 15–20 May, 2016, p. 147.
3. Starostenko V., Janik T., Yegorova T., ..., Aizberg R., Garetsky R., Karataev G., Gribik G. et al. Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT 2013 in Pripyat-Dniepr-Donets Basin (Belarus and Ukraine). *Geophysical J. Int.* 2017, no. 24, pp. 1–31.
4. Garetsky R. G., Klushin S. V. *Glubinnoe stroenie Pripyatskogo paleorifta* [Deep structure of Pripyatskogo paleorifta]. *Dokl. AN SSSR*. 1987. Vol. 297, no 6, pp. 1438–1442.
5. Garetsky R. G., Klushin S. V. *Listricheskie razломы в Припятском палеорифте* [Listricheskie break a secret in Pripyatskому paleorifte]. *Geotektonika*. 1989, no 1, pp. 49–60 (in Russian).
6. Korzun V. P., Makhnach A. S. *Verkhnedevonskie chelochnie vulkanogenie formacii Pripyatskogo basseyna* [Verkhnedevonskie alkaline volcanic structures of the Pripyatskogo pool]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1977. 163 p. (in Russian).
7. Jarkov V. N., Trubicin V. P. *Fizika planetarnikh nedr* [Physics of planetary bowels of the earth]. Moscow, Nauka Publ., 1980, 448 p. (in Russian).
8. Krasovskiy S. S. *Otrajenie dinamiki zemnoy kori kontinentalnogo tipa v gravitacionnom pole* [A reflection of dynamics of the earth's crust of continental type is in the gravity field]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1981, 264 p. (in Russian).
9. Oroveckiy Yu. P., Kobolev V. P. *Goryache poyasy Zemli* [Hot belts of Earth]. Kiev, Naukova dumka Publ., 2006, 311 p. (in Russian).
10. Artyushkov E. V. *Fizicheskaya tektonika* [Physical tectonics]. Moscow, Nauka Publ., 1993, 455 p. (in Russian).
11. Yanshin A. L., Artyushkov E. V. *Osnovnie tipi krupnikh struktur litosfernikh plit i vozmojnie mehanizmi ikh obrazovaniya* [Basic types of large structures of sial flags and possible mechanisms of their education]. *Dokl. AN SSSR*. 1977. Vol. 234, no 5, pp. 1175–1179 (in Russian).
12. Sollogub V. B. *Litosfera Ukrayini* [Lithosphere Ukraine]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1986, 184 p. (in Russian).
13. Thybo H., Janik N., Omelchenko V. D. et al. Upper lithospheric seismic velocity structure across the Pripyat Trough and the Ukrainian Shield along the EUROBRIDGE-97 profile. *Tectonophysics* 371, 2003, pp. 41–79.
14. Chekunov A. V. *O razdviganiyu i vrashenii blokov zrmnoy kori pri formirovaniyu Dneprovsko-Doneckogo avlakogena* [About moving apart and rotation of blocks of the earth's crust at forming of Dnepr-Donetsk avlakogena]. *Geol. jurnal = Geology Jurnal*. 1976, no 1, pp. 123–127 (in Russian).
15. Ayzberg R. E., Starchik T. A. *Sinriftovaya geodinamika Pripyatskogo progiba* [Sinriftovaya geodinamika of the Pripyatskogo bending]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2013, 146 p. (in Russian).
16. Chekunov A. V., Kalyujnaya L. T., Ryabchun L. I. *Glubinnoe stroenie i nefnegazonosnost Dneprovsko-Doneckogo paleorifta* [Deep structure and oil-and-gas bearing of Dnepr-Donetsk paleorift]. Riftogenet i nefnegazonosnost. Moscow, Nauka Publ., 1993, pp. 16–24 (in Russian).

Информация об авторах

Гарецкий Радим Гаврилович – академик, д-р геол.-минерал. наук, иностранный член Рос. акад. наук, профессор, гл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Каратеев Герман Иванович – д-р геол.-минерал. наук, академик Междунар. акад. энергоинформ. наук, профессор, гл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: german031031@gmail.com

Information about the authors

Radim G. Garetsky – D.Sc. (Geology and Mineralogy), Academician, Foreign Member of the Russian Academy of Sciences, Professor, Chief Research, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

German I. Karataev – D.Sc. (Geology and Mineralogy), Academician of the International Academy of Energy Informative Sciences, Professor, Chief Research, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: german031031@gmail.com

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ ПО СТЕПЕНИ КОМФОРТНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ДЛЯ НАСЕЛЕНИЯ

А. В. Матвеев

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Экстремальные формы современных геологических процессов могут создавать определенный дискомфорт для жизни и трудовой деятельности населения, который проявляется в ухудшении здоровья, деформациях природных комплексов и сельскохозяйственных угодий, ухудшении инженерно-геологических свойств грунтов, повышении материальных затрат на реабилитацию загрязненных и нарушенных территорий. Выполненная балльная оценка воздействия геологических факторов на окружающую среду позволила провести районирование региона с выделением площадей с высокой (1–8 баллов), относительно высокой (9–15), умеренной (16–24), пониженной (25–30), низкой (31–36) и весьма низкой (более 36 баллов) степенями комфортности. При этом участки благоприятные и относительно благоприятные для населения занимают около 2/3 площади региона, неблагоприятные – примерно 1/3, а самыми дискомфортными являются зоны активных на современном этапе разломов (2 % всей территории).

Ключевые слова: современная геодинамика; районирование; геэкологическая безопасность; комфортность окружающей среды.

Для цитирования. Матвеев А. В. Районирование территории западной части Белорусского Полесья по степени комфортности геологической среды для населения // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 154–162.

THE ZONATION OF THE WESTERN PART OF THE BELARUSIAN POLESIE ON THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT COMFORT LEVELS FOR THE POPULATION

A. V. Matveyev

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

Abstract. Extreme geological processes can create the discomfort for the population, which is manifested in the deterioration of health, deformations of natural complexes and agricultural lands, impairment of the engineering and geological properties of soils, increasing of the material costs for the rehabilitation of polluted and disturbed areas. The scoring of the impact of geological factors on the environment were made, this allowed to carry out the zonation of the region with pick out areas with high (1–8 points), relatively high (9–15), moderate (16–24), moderate low (25–30), low (31–36) and very lower (more than 36 points) levels of comfort. At the same time, the areas favorable and relatively favorable for the population occupy about 2/3 of the region, unfavorable – about 1/3, and the most uncomfortable zones are the modern active faults (2 % of the entire territory).

Key words: modern geodynamics; zonation; geoecological security; environmental comfort.

For citation. Matveyev A. V. The zonation of the western part of the Belarusian Polesie on the geological environment comfort levels for the population. *Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 154–162.

Начиная со второй половины XX в. заметно возрастает техногенная нагрузка на природные комплексы, что нередко сопровождается ухудшением геэкологической обстановки в регионах. Этим объясняется внимание ученых к изучению проблем взаимоотношения человека и природы, разработке сценариев возможного развития окружающей среды на ближайшую и более отдаленную перспективы, обоснованию мероприятий по рациональному природопользованию. В то же время проводимые исследования показали, что серьезное воздействие на среду обитания человека, кроме техногенного фактора, оказывают экстремальные формы проявления современной геодинамики и некоторые особенности геологического строения [1–4].

В результате проявления перечисленных факторов проблема природопользования постепенно перерастает в проблему охраны жизни и здоровья человека, его генетического будущего. Для обоснования и разумного применения мер по минимизации последствий реализации природно-антропогенных опасностей и рисков необходимо проведение районирования территории по степени комфортности для жизнедеятельности населения. При этом естественно, что подобные работы яв-

ляются первоочередными для регионов, испытывающих существенную трансформацию природных комплексов. Одной из таких территорий является западная часть Белорусского Полесья. Интенсивные осушительные мелиорации, торфо- и лесоразработки, добыча сапропелей, минеральных строительных материалов, загрязнение природной среды обусловили здесь заметную деградацию экологических условий. В последние годы вопросам восстановления и сохранения естественных ландшафтов одного из уникальных объектов Европы – Белорусского Полесья – посвящено значительное количество публикаций и международных конференций. Становится очевидным, что для выполнения подобных исследований крайне актуально на основании изучения эволюции ландшафтов в позднеплойстоценовое и голоценовое время оценить разную степень измененности природных комплексов и влияния этих процессов на условия жизнедеятельности населения. С этой целью были поставлены работы по заданию 1.02 «Исследование эволюции ландшафтов территории Брестского Полесья в позднеплойстоценовое и голоценовое время с целью районирования территории по степени экологической безопасности» ГПНИ «Природопользование и экология». Полученные по этому заданию данные, а также некоторые материалы исследований по проекту БРФИ № X18МС–007 «Исследование эволюции природных обстановок и экологических условий на территории Белорусского и Литовского Поозерий в голоценовое время, оценка качества окружающей среды для проживания населения» использованы для приведенной ниже характеристики особенностей современных геодинамических процессов и обусловленной ими разной степени комфортности среды для населения.

Материалы и методика. Основными исходными данными для оценки степени комфортности природной среды для населения послужили особенности и последствия проявления на изученной территории процессов современной геодинамики. По результатам выполненных исследований и опубликованным данным [1, 5–7] установлено, что на территории западной части Белорусского Полесья разнообразно проявляются три класса современных геологических процессов – эндогенный, экзогенный и техногенный. Из этих процессов наибольшее влияние на природную среду оказывают из эндогенного класса сейсмичность, геодинамические процессы в зонах активных разломов и наиболее протяженных топо- и космолинеаментов; из экзогенного класса – овражная эрозия, плоскостная эрозия временных водотоков с интенсивностью смыва более 2 мм/год, экстремальные формы ветровой эрозии (пыльные бури), гравитационных, карстовых процессов, подтопление территории (геологические аспекты этого процесса); из техногенного класса – наиболее значительная техногенная измененность земной поверхности (общий объем грунтов, перемещенных в процессе добычи полезных ископаемых, строительных работах и др.), накопление промышленных отходов, формирование геохимических аномалий и т.д. Кроме того, на геэкологическую обстановку несомненно воздействуют некоторые особенности геологического строения, комплексность в проявлении геологических процессов, природно-антропогенные геохимические аномалии, рекреационные особенности рельефа и покровных отложений.

Перечисленные виды геодинамики, их некоторые обобщенные характеристики показаны на специально построенной схеме (рис. 1), которая послужила картографической основой для районирования территории региона. Степень комфортности оценивали по последствиям реализации геологических факторов, которые сводятся к следующему.

Эндогенные процессы могут сопровождаться сотрясаемостью земной поверхности, повышением скоростей вертикальных и горизонтальных движений земной коры, неравномерностью их проявления, формированием геофизических и геохимических аномалий, смещением поверхностей и слоев, деформациями зданий и других сооружений, активизацией ряда экзогенных процессов (обвалы, оползни, эоловая аккумуляция и др.), увеличением числа различного типа аварий и сбоями в работе электронной аппаратуры.

Экзогенные процессы вызывают смещение, смыв, размыв, растворение и накопление отложений, формирование комплекса просадочных и других форм на земной поверхности, подтопление населенных пунктов, образование крайне неустойчивых грунтов – плывунов, заливание водотоков и водоемов, запыление атмосферного воздуха, разрушение сельскохозяйственных угодий, природных комплексов, снижение плодородия почв.

Развитие процессов заболачивания удорожает или делает вообще невозможным строительство зданий и сооружений [5], ухудшает качество питьевых вод, сопровождается формированием геохимических аномалий, усложняет проведение сельскохозяйственных работ и др.

Техногенные процессы сопровождаются формированием особых форм рельефа, геохимических аномалий, разрушением сельскохозяйственных угодий, зданий и сооружений, природных комплексов вплоть до появления бэдленда, могут вызывать вторичное заболачивание, повышение интенсивности почти всего комплекса экзогенных процессов, активизировать проявление сейсмичности. Таким образом, особенности геологического строения и современной геодинамики могут создавать определенный дискомфорт для населения. Этот дискомфорт в обобщенном виде сводится к влиянию на здоровье населения, ограничению в выборе мест строительства новых инженерных сооружений, нарушению природных комплексов и сельскохозяйственных угодий, увеличению материальных затрат, необходимых для минимизации деформаций природно-антропогенных комплексов.

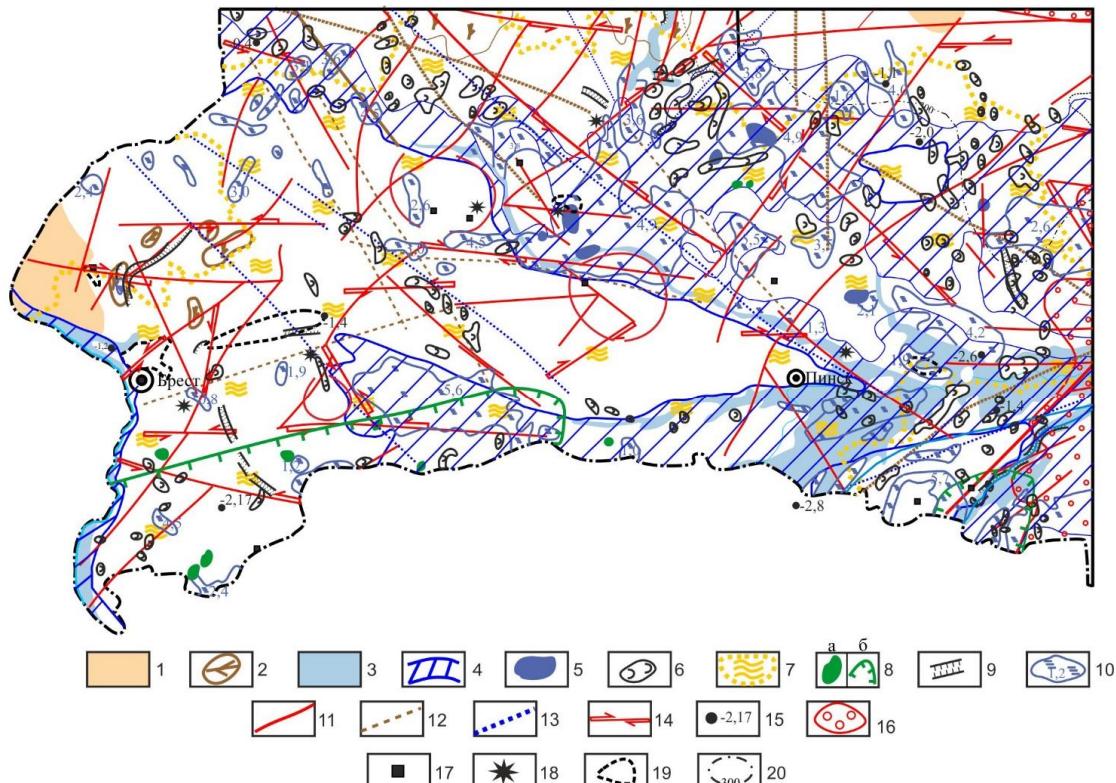


Рис. 1. Карта современных геологических процессов на территории западной части Белорусского Полесья.
 Эзогенные процессы: 1 – плоскостная эрозия (2 мм/год); 2 – овражная эрозия; 3 – эрозионно-аккумулятивные процессы в крупных речных долинах; 4 – площади затопления и подтопления при паводках; 5 – аккумулятивные процессы в озерных котловинах; 6 – эоловая аккумуляция и денудация; 7 – экстремальные проявления дефляции (пыльные бури высокой интенсивности); 8 – карст (а – реальный; б – потенциальный); 9 – гравитационные процессы (обвалы, оползни, осьпии); 10 – биогенные процессы (торфонакопление) и максимальные значения мощности торфа.
 Эндогенные процессы: 11 – активные разломы; 12 – процессы в зонах наиболее протяженных космолинеаментов; 13 – процессы в зонах наиболее протяженных тополинеаментов; 14 – горизонтальные движения земной коры; 15 – отдельные значения скоростей вертикальных движений; 16 – возможные проявления сейсмичности интенсивностью 5 баллов и более.
 Техногенные процессы: 17 – денудационные (наиболее крупные карьеры); 18 – аккумулятивные (наиболее крупные свалки); 19 – проявление комплекса техногенных и техногенно обусловленных процессов; 20 – интегральная оценка интенсивности проявления техногенных процессов (более 300 т/км²/год)

Fig. 1. Map of modern geological processes in the western part Belarusian Polesie.
 Exogenous processes: 1 – plane erosion (2 mm/year); 2 – ravine erosion; 3 – erosion-accumulation processes in large river valleys; 4 – areas of flooding and flooding during floods; 5 – accumulation processes in lake hollows; 6 – eolian accumulation and denudation; 7 – extreme manifestations of deflation (dust storms of high intensity); 8 – karst (a – real; b – potential); 9 – gravity processes (landslides, landslides, debris); 10 – biogenic processes (peat accumulation) and maximum values of peat thickness.
 Endogenous processes: 11 – active faults; 12 – processes in areas of the longest cosmolinements; 13 – processes in the zones of the longest topolineaments; 14 – horizontal movements of the earth's crust; 15 – separate values of the velocities of vertical movements; 16 – possible occurrences intensity of 5 points or more.
 Technogenic processes: 17 – denudation (the largest quarries); 18 – accumulative (the largest landfills); 19 – manifestation of a complex of technogenic and technologically caused processes; 20 – integral assessment of the intensity of the manifestation of technogenic processes (more than 300 t/km²/year)

Количественную оценку последствий основных факторов изменения окружающей среды, учитывая опыт исследований на смежных территориях [4, 8] и в Беларуси [9], проводили в баллах в зависимости от степени изученности особенностей геологического строения, повторяемости и интенсивности процессов.

Повторяемость проявления факторов характеризовалась значениями от 1 до 3 (1 – раз в десятилетие и реже; 2 – раз в несколько лет (сезонная); 3 – постоянная). Степень неблагоприятности вли-

ияния факторов рассчитывали по пятибалльной шкале – от 1 до 5 (1 – незначительная; 2 – умеренная; 3 – повышенная; 4 – значительная; 5 – весьма значительная).

При этом незначительное воздействие комплекса геологических условий сопровождается локальными изменениями природных и сельскохозяйственных комплексов, влияние на здоровье населения и ухудшение свойств грунтов маловероятны. Умеренные последствия проявления факторов предполагают частичное изменение природных комплексов и сельскохозяйственных угодий, несколько вышеекларковое загрязнение покровных отложений, незначительное (быстро проходящее) ухудшение здоровья населения, незначительные материальные затраты на минимизацию последствий. Повышенное неблагоприятное влияние геологических условий на среду обитания проявляется в существенном изменении, ухудшении качества природных комплексов и сельскохозяйственных угодий, загрязнении до предельно допустимых концентраций покровных отложений, вышефоновой заболеваемости населения, распространении «слабых» грунтов, в связи с чем для минимизации ущерба требуются определенные материальные затраты.

Площади, на которых процессы геодинамики и геологические условия значительно влияют на среду обитания населения, характеризуются деградацией и частичным разрушением природных комплексов и сельскохозяйственных угодий, загрязнением покровных отложений выше предельно-допустимых концентраций, увеличением заболеваемости населения, повсеместным распространением «слабых» грунтов, что предполагает и повышенные материальные расходы для минимизации этих последствий. И, наконец, на территориях с весьма значительными неблагоприятными последствиями проявления современных геологических процессов может происходить разрушение природных и природно-техногенных комплексов, формируются геофизические и геохимические аномалии, неблагоприятно влияющие на здоровье населения, возрастает число различного типа аварий.

Что касается оценок среды для размещения промышленных объектов, то наиболее неблагоприятными являются зоны активных разломов и участки проявления карста. Повышенной и умеренной степенями неблагоприятности отличаются площади с возможной сейсмичностью до 5 баллов, развитием овражной эрозии, гравитационных процессов, подтоплений, значительной преобразованности земной поверхности (до 1 млн т/км² и более) и загрязненностью Cs-137 5 Ки/км² и более.

С учетом описанных подходов был выполнен расчет балльных оценок влияния геологических факторов на комфортность среды обитания населения. Эти величины для территории проявления сейсмичности составляют 6 баллов, для геодинамических процессов в зонах активных разломов – 21, для наиболее протяженных топо- и космолинеаментов – 13, для развития овражной эрозии – 8, плоскостной эрозии – 4, для пыльных бурь – от 4 до 7 (в зависимости от интенсивности), для гравитационных процессов – 7, для подтопления – 8, для развития карста – 7–9, для заболоченных территорий – 7, для болот – 11, для участков с разной степенью техногенной преобразованности земной поверхности – 6 и 13, с интегральной оценкой интенсивности современных техногенных процессов более 300 т/км²/год – 6, с накоплением промышленных отходов до 100 тыс. т – 6, до 500 тыс. т – 7, на потенциально радиоопасных территориях – 6 и 7 (в зависимости от площади загрязнения), в пределах природно-антропогенных геохимических аномалий – 6, на участках техногенных аномалий Cs-137 5 Ки/км² – 13 баллов. Полученные оценки, построенная схема современных геологических процессов, а также опубликованные данные по возможным последствиям реализации природно-техногенных опасностей [9–11] позволили построить схему районирования изученной территории по степени комфорта для населения. Для этого территория была разбита на квадраты площадью 100 км². Всего выделено 317 квадратов, в пределах которых в зависимости от площади проявления отдельных факторов, рассчитывали значения их характеристик в баллах. По каждому фактору составляли таблицы подобных значений, затем проводили их суммирование и полученные величины относили к центрам квадратов. Рассчитанные суммы варьировали в основном от 1 до 36 баллов. Что касается разрывных структур, то имея в виду совокупность геологических факторов, проявляющихся в их пределах, для зон активных разломов получены величины более 36 баллов, для топо- и космолинеаментов – 26–30 баллов. Эти зоны на карте районирования показаны соответствующими линиями. Затем с учетом числа квадратов с одинаковыми или близкими значениями, установив границы, на которых происходит более или менее заметное изменение воздействия комплекса геологических условий на геоэкологическую обстановку, и было проведено районирование территории.

Результаты и их обсуждение. Вся территория западной части Белорусского Полесья подразделена на пять типов с высокой (1–8 баллов), относительно высокой (9–15), умеренной (16–24), пониженнной (25–30), низкой (30–36) и весьма низкой (более 36 баллов) степенями благоприятности для проживания и трудовой деятельности населения (рис. 2). Особенности, по которым выделены эти таксоны, приведены в таблице. При таком подходе к районированию проявляется в определенной степени субъективизм, зависящий от взглядов автора. Однако, при современном уровне знаний об интенсивности геологических процессов и воздействии на геоэкологическую обстановку геологических условий в целом, использованные принципы районирования можно признать заслуживающими внимания.

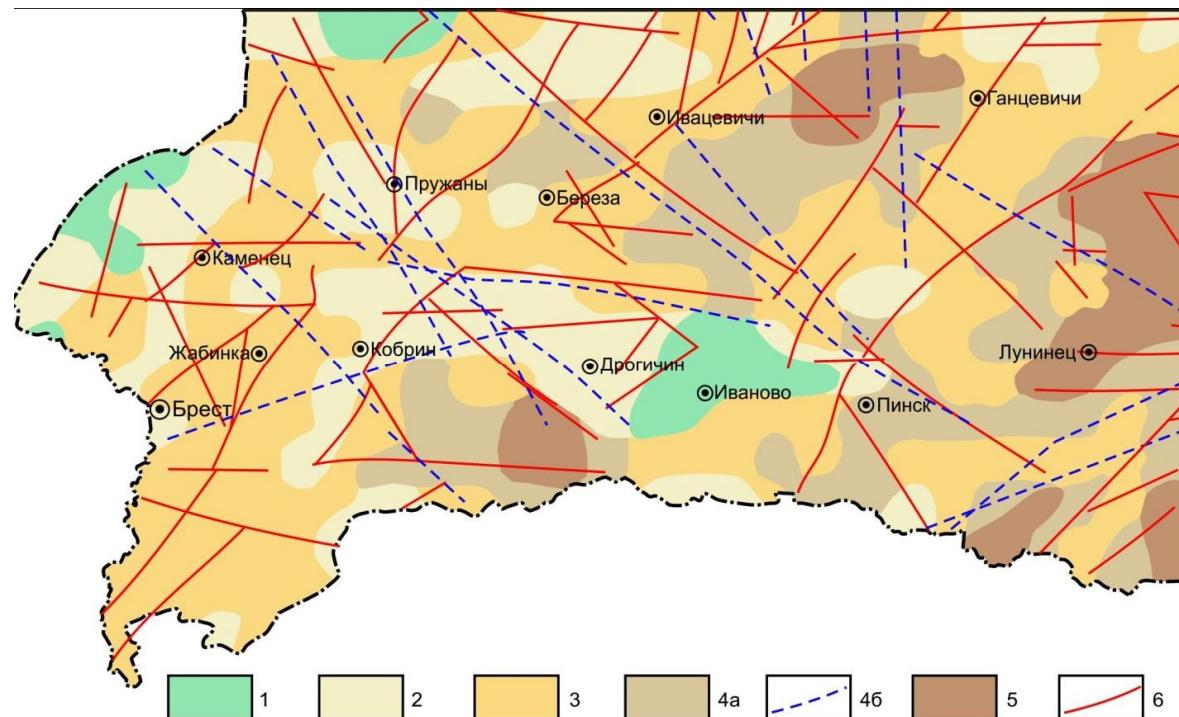


Рис. 2. Районирование территории по степени комфортности природной среды для жизнедеятельности населения. Степень комфорта: 1 – высокая; 2 – относительно высокая; 3 – умеренная; 4а – пониженная; 4б – понижена в зонах топо- и космолинеаментов; 5 – низкая; 6 – весьма низкая

Fig. 2. Zoning of the territory according to the degree of comfort of the natural environment for the livelihoods of the population. The degree of comfort: 1 – high; 2 – relatively high; 3 – moderate; 4a – reduced; 4b – reduced in zones of topo- and cosmolineaments; 5 – low; 6 – very low

Судя по схеме районирования, площади с высокой степенью комфорта (1–8 баллов) занимают около 7 % территории региона и тяготеют к его крайней западной, северо-западной частям, а также к Загородью. Для этих площадей характерно распространение моренных, флювиогляциальных и краевых ледниковых образований, ограниченное (локальное) проявление современных геологических процессов, наличие локальных незначительных повышений содержания радона в почвенном воздухе. Геологические условия в целом являются наиболее благоприятными в регионе для жизнедеятельности населения, так как не стимулируют рост заболеваемости и не создают препятствий для строительства промышленных объектов. Проявление геодинамических процессов может вызывать только незначительные нарушения природных комплексов и сельскохозяйственных угодий, которые не требуют для реабилитации серьезных материальных затрат.

Площади с относительно высокой степенью комфорта (9–15 баллов) занимают около 20 % поверхности региона. Наибольшие из участков выделены западнее долготы г. Иваново, восточнее они встречаются реже и имеют относительно меньшие размеры. В пределах этих выделов распространены преимущественно моренные, флювиогляциальные и краевые ледниковые образования, причем на крайнем западе заметно преобладают моренные отложения, а на остальной территории отмечается достаточно пестрое сочетание всех перечисленных генетических типов. Характеризуемые территории с относительно высокой степенью благоприятности для проживания населения отмечаются локальным проявлением современных геологических процессов, что привело к некоторым нарушениям природных комплексов, сельскохозяйственных угодий, формированию на отдельных участках вышефоновых концентраций радона в почвенном воздухе, тяжелых элементов в покровных отложениях. Перечисленные геологические условия могут создавать локальные ограничения для возможного строительства промышленных объектов, несколько снижать урожайность сельскохозяйственных культур, вызывать незначительное повышение быстропроходящих заболеваний дыхательных путей. Для минимизации последствий локального неблагоприятного проявления геологических условий необходимы минимальные и умеренные материальные затраты.

Особенности территории с различной степенью комфортности природной среды для населения
Features of the territory with varying degrees of comfort of the natural environment for the population

Степень комфортности	Оценка в баллах	Проявление неблагоприятных процессов и геологических условий
Высокая	1–8	Пыльные бури умеренной интенсивности, локальное распространение заболоченности, подтоплений, относительно радиоопасных концентраций в почвенном воздухе
Относительно высокая	9–15	Пыльные бури повышенной интенсивности, локальное распространение заболоченности, подтоплений, плоскостной эрозии, овражной эрозии, гравитационных процессов, отдельные площади проявления потенциальных относительно радиоопасных концентраций в почвенном воздухе, распространение промышленных отходов (до 50 т/км ²), общий объем перемещенных техногенными процессами отложений до 350 тыс. т/км ²
Умеренная	16–24	Пыльные бури повышенной и высокой интенсивности, на отдельных площадях проявление потенциальных относительно радиоопасных концентраций в почвенном воздухе, распространение болот и заболоченных земель, промышленных отходов (до 250 т/км ²), локальное распространение плоскостной и овражной эрозии, гравитационных процессов, общий объем перемещенных техногенными процессами отложений до 350 тыс. т/км ² , локально больше
Пониженная	25–30	Пыльные бури разной интенсивности, распространение болот и заболоченных земель на 50–100 % площадей всех выделенных контуров, проявление площадных потенциальных относительно радиоопасных концентраций в почвенном воздухе, других природно-антропогенных геохимических аномалий, скопление промышленных отходов до 50 т/км ² , единичные локальные концентрации Cs-137 до 5 Ки/км ² , локальное проявление гравитационных, карстовых процессов, возможной сотрясаемости земной поверхности до 5 баллов, общий объем перемещенных техногенными процессами отложений до 350 тыс. т/км ² , локально больше
Пониженная в зонах наиболее протяженных топо- и космо-линеаментов		Аномалии электромагнитного поля, подъем минерализованных вод до глубины 80–100 м, повышение на 1 балл по сравнению с фоновой, возможной сотрясаемости земной поверхности, единичные потенциально относительно радиоопасные концентрации в почвенном воздухе, локальные повышения скоростей вертикальных движений земной коры до 10–15 мм/год
Низкая	31–36	Пыльные бури разной интенсивности, распространение болот и заболоченных земель на 70–100 % площадей всех выделенных контуров, проявление площадных потенциальных относительно радиоопасных концентраций в почвенном воздухе, сейсмичности до 5 баллов и аномалий Cs-137 до 5 Ки/км ² в юго-восточной части региона, общий объем перемещаемых техногенными процессами отложений до 350 тыс. т/км ² , реже более, интенсивность проявления техногенных процессов до 300 т/км ² /год
Весьма низкая в зонах активных разломов	Более 36	Комплексные геофизические аномалии, аномальные концентрации Cr, V, Co, Mn, Be и других элементов в покровных отложениях, потенциально радиоопасные и относительно радиоопасные концентрации в почвенном воздухе, подъем минерализованных вод (иногда до выходов на земную поверхность), повышение возможной сотрясаемости земной поверхности на 1 балл и более по сравнению с фоновыми значениями, повышение скорости современных вертикальных движений земной коры до 20–30 мм/год, проявление горизонтальных движений земной коры

Площади с умеренной степенью благоприятности для населения (16–24 балла) занимают примерно 36 % всей поверхности и равномерно распространены по изученной территории. Среди покровных отложений преобладают флювиогляциальные пески, нередко также распространены моренные, краевые ледниковые и озерно-аллювиальные отложения, в восточной части региона примерно равные площади занимают флювиогляциальные и озерно-аллювиальные образования. Достаточно разнообразно проявляются геологические процессы, на отдельных участках сформировались радионевые аномалии в почвенном воздухе, вышефоновые концентрации Cr, В, Mn, V и Ni в покровных отложениях, нередко отмечается заболачивание территории. Проявление этих процессов на отдельных

площадях приводит к нарушениям природных комплексов и сельскохозяйственных угодий, снижению плодородия земель, создает неблагоприятные условия для строительства промышленных объектов, способствует вышефоновой заболеваемости населения. Для минимизации неблагоприятных последствий проявления геологических условий требуются умеренные материальные затраты.

Площади с пониженной степенью комфортности (25–30 баллов) занимают 21 % поверхности региона. Они распространены в основном в центральной и восточной части Брестского Полесья, восточнее долготы г. Кобрина. Среди покровных отложений преобладают озерно-аллювиальные пески и тонкие супеси, встречаются также торф, флювиогляциальные, краевые ледниковые преимущественно разнозернистые пески и моренные супеси, в юго-восточной части аллювиальные пески надпойменных террас Припяти и ее притоков.

Относимые к этой категории площадей зоны топо- и космолинеаментов образуют относительно разреженную сеть линейных структур, имеют преобладающую ориентировку в направлении северо-запад–юго-восток, заметно реже встречаются структуры северо-восточного–юго-западного и субмеридионального простираций и единично вытянуты субширотно. Длина зон – от 40 км до 80 км, редко – до 150 км, ширина измеряется десятками и первыми сотнями метров. Проявление современных геологических процессов разного генезиса на характеризуемых площадях привело к заметным нарушениям природных комплексов и сельскохозяйственных угодий, вызвало формирование относительно радиоопасных концентраций в почвенном воздухе, аномальных содержаний тяжелых металлов, реже – радиоактивных элементов в покровных отложениях. На этих площадях повышена заболеваемость населения, существуют существенные ограничения в выборе мест строительства промышленных объектов. Для минимизации неблагоприятных последствий проявления особенностей геологического строения и геодинамики требуются существенные материальные затраты.

Площади с низкой степенью благоприятностью для населения (31–36 баллов) занимают около 13 % поверхности региона. Они в основном тяготеют к крайней восточной части характеризуемой территории, кроме того выделено еще два участка с низкой степенью благоприятности для жизнедеятельности человека: западнее Ганцевичей и юго-западнее Дрогичина. Среди покровных отложений в пределах рассматриваемых площадей в восточной части преобладают озерно-аллювиальные пески и тонкие супеси и разнозернистые аллювиальные пески террас Припяти и ее притоков, западнее Ганцевичей и юго-западнее Дрогичина – песчаные и супесчаные озерно-аллювиальные отложения, в меньшей степени флювиогляциальные разнозернистые пески. Повсеместно территория сильно заболочена, поэтому минеральные отложения часто перекрыты торфом.

Проявления современных геологических процессов привели к значительному преобразованию природных комплексов и сельскохозяйственных угодий, формированию различных геохимических аномалий, включая распространение загрязненных Cs-137 (до 6 Ки/км²) отложений. На характеризуемых площадях заметно вышефоновая заболеваемость населения, ограничены возможности развития сельскохозяйственного производства, выбора мест строительства промышленных объектов. Улучшение условий жизнедеятельности населения требует существенных материальных затрат.

Площади с весьма низкой степенью комфорта природной среды (более 36 баллов) приурочены к зонам активных на современном этапе разломов, которые довольно равномерно распространены по территории региона. Их длина в основном составляет от 15–20 км до 90 км, при ширине преимущественно до 1 км (реже – до 3 км). Эти структуры по-разному ориентированы, но преобладают формы юго-западного–северо-восточного (37 %) и субширотного (30 %) простираций. В зонах активных разломов встречаются все перечисленные выше типы покровных отложений. Основные неблагоприятные последствия для населения связаны с процессами, обусловившими формирование комплекса геохимических и геофизических аномалий, повышение скорости вертикальных и проявление горизонтальных движений земной коры. Все это может способствовать, как показали выполненные ранее исследования по территории Беларуси и другим регионам [4, 9, 12, 13], росту заболеваемости населения, деформациям зданий и других сооружений, аварий различного типа. Расположенные в этих зонах жилые сооружения для дальнейшего использования следует перепрофилировать; постройки, пересекающие зоны трубопроводов, требуют повышенных мер по защите; участие транспортных магистралей следует обозначить соответствующими знаками, чтобы обратить внимание водителей на необходимость повышения внимания. Для минимизации неблагоприятных последствий проявления зон активных разломов необходимы значительные материальные затраты.

Выходы.

1. На территории западной части Белорусского Полесья довольно разнообразно проявляются современные геологические процессы, экстремальные формы которых могут существенно влиять на геэкологическую обстановку.

2. Неблагоприятные последствия современной геодинамики сказываются на состоянии здоровья населения, вызывают трансформацию природных комплексов, иногда разрушают сельскохозяйст-

венные угодья, ухудшают инженерно-геологические свойства грунтов, увеличивают затраты на реабилитацию загрязненных и нарушенных территорий.

3. Перечисленные исследования современной геодинамики, оцененные в баллах, и построенная схема современных геологических процессов позволили выполнить районирование региона с выделением площадей с высокой (около 7 % всей площади), относительно высокой (20 %), умеренной (36 %), пониженной (21 %), низкой (13 %) и весьма низкой (не более 2 %) степенями комфортности для проживания и трудовой деятельности населения.

Список использованных источников

1. Матвеев, А. В. Особенности современного морфогенеза на территории Беларуси / А. В. Матвеев // Вопросы географии. Сб. 140 : Современная геоморфология. – М., 2015. – С. 380–395.
2. Опасные экзогенные процессы; под ред. В. И. Осипова. – М., 1999. – 290 с.
3. Гарецкий, Р. Г. Основные проблемы экологической геологии / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Карапаев // Геоэкология. – 1995. – № 1. – С. 28–35.
4. Геопатогенные зоны – миф или реальность ; науч. ред. В. А. Рудник. – СПб., 1993. – 48 с.
5. Инженерная геология Беларуси / А. Н. Галкин [и др.]. Часть 2 : Инженерная геодинамика Беларуси. – Витебск, 2017. – 452 с.
6. Гречаник, Н. Ф. Рельеф территории Подлясско-Брестской впадины / Н. Ф. Гречаник, А. В. Матвеев, М. А. Богдасаров. – Брест, 2013. – 153 с.
7. Современная динамика рельефа Белоруссии / под ред. Б. Н. Гурского, А. В. Матвеева. – Минск, 1991. – 102 с.
8. Исследование опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Украине / Л. Г. Руденко [и др.] // Природопользование. – 2016. – Вып. 29. – С. 21–29.
9. Матвеев, А. В. Геохимия четвертичных отложений Беларуси / А. В. Матвеев, В. Е. Бордон. – Минск, 2013. – 191 с.
10. Матвеев, А. В. Районирование территории Беларуси по степени радоновой опасности грунтов / А. В. Матвеев // Доклады НАН Беларуси. – 2016. – Т. 60, № 5. – С. 108–112.
11. Матвеев, А. В. Последствия проявления опасных геологических процессов на территории Беларуси / А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко // Природопользование. – 2016. – Вып. 29. – С. 30–37.
12. Гарецкий, Р. Г. О постановке геолого-геофизических исследований в геопатогенных зонах / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Карапаев // Літасфера. – 2012. – № 2 (37). – С. 83–94.
13. Осипов, В. И. Природные опасности и риски на пороге XXI века / В. И. Осипов // Стратегия гражданской защиты: проблемы исследования. – 2012. – Т. 2, вып. 2. – С. 28–35.

References

1. Matveev A. V. *Osobennosti sovremenennogo morfogeneza na territorii Belarusi* [Features of modern morphogenesis on the territory of Belarus]. *Voprosy geografii. Sb. 140 : Sovremennaya geomorfologiya = Geography issues. Sat 140: Modern geomorphology*. Moscow, 2015, pp. 380–395 (in Russian).
2. *Opasnye ehkzogennye process. Pod red. V. I. Osipova* [Hazardous exogenous processes ; by ed. V. I. Osipov]. Moscow, 1999, 290 p. (in Russian).
3. Gareckij R. G., Karataev G. I. *Osnovnye problemy ehkologicheskoy geologii* [Main problems of ecological geology]. *Geohkologiya = Geoecology*, 1995, № 1, pp. 28–35 (in Russian).
4. *Geopatogennye zony – mif ili real'nost'. Nauch. red. V. A. Rudnik* [Geopathogenic zones – myth or reality ; scientific ed. V. A. Mine]. St. Petersburg, 1993, 48 p. (in Russian).
5. Galkin A. N., Matveev A. V., Pavlovskij A. I., San'ko A. F. *Inzhenernaya geologiya Belarusi* [Engineering Geology of Belarus]. *Chast' 2: Inzhenernaya geodinamika Belarusi = Part 2: Engineering geodynamics of the Belarus*. Vitebsk, 2017, 452 p. (in Russian).
6. Grechanik N. F., Matveev A. V., Bogdasarov M. A. *Rel'ef territorii Podlyassko-Brestskoj vpadiny* [Relief of the territory of the Podlasie-Brest depression]. Brest, 2013, 153 p. (in Russian).
7. *Sovremennaya dinamika rel'efa Belorussii. Pod red. B. N. Gurskogo, A. V. Matveeva* [Modern dynamics of the relief of Belarus ; by ed. B. N. Gursky, A. V. Matveyev]. Minsk, 1991, 102 p. (in Russian).
8. Rudenko L. G. [i dr.] *Issledovanie opasnostej i riskov chrezvychajnyh situacij v Ukraine* [Study of the dangers and risks of emergency situations in Ukraine]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2016, vol. 29, pp. 21–29 (in Russian).
9. Matveev A. V., Bordon V. E. *Geohimiya chetvertichnyh otlozhenij Belarusi* [Geochemistry of Quaternary deposits of Belarus]. Minsk, 2013, 191 p. (in Russian).
10. Matveev A. V. *Rajonirovanie territorii Belarusi po stepeni radonovoj opasnosti gruntov* [Regionalization of the territory of Belarus according to the degree of radon danger of soils]. *Doklady NAN Belarusi = Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2016, t. 60, № 5, pp. 108–112 (in Russian).

11. Matveev A. V., Nechiporenko L. A. *Posledstviya proyavleniya opasnyh geologicheskikh processov na territorii Belarusi* [Consequences of the manifestation of hazardous geological processes on the territory of Belarus]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2016, vol. 29, pp. 30–37 (in Russian).
12. Gareckij R. G., Karataev G. I. *O postanovke geologo-geofizicheskikh issledovanij v geopatogennyh zonah* [On the formulation of geological and geophysical studies in geopathogenic zones]. *Litasfera = Lithosphere*, 2012, no. 2 (37), pp. 83–94 (in Russian).
13. Osipov V. I. *Prirodnye opasnosti i riski na poroge XXI veka* [Natural hazards and risks on the threshold of the 21st century]. *Strategiya grazhdanskoy zashchity: problemy issledovaniya = Civil protection strategy: problems of research*, 2012, vol. 2, issue 2, pp. 28–35 (in Russian).

Информация об авторе

Матвеев Алексей Васильевич – академик, д-р геол.-мин. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: matveyev@ecology.basnet.by

Information about the author

Aleksey V. Matveyev – Academician, D.Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Chief Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: matveyev@ecology.basnet.by

СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛОРУССКОГО ПООЗЕРЬЯ

А. В. Матвеев, В. П. Зерницкая

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Охарактеризованы особенности проявления и построены схемы наиболее распространенных видов современных геологических процессов. Показано, что экстремальные формы современной геодинамики вызывают деформации природных комплексов, сельскохозяйственных угодий, зданий и других сооружений, обусловливают формирование геохимических и геофизических аномалий, заметно ухудшают инженерно-геологические свойства грунтов, снижают плодородие почв. В этом отношении эти процессы могут рассматриваться в качестве природных и природно-антропогенных опасностей литосферного класса.

Ключевые слова: эндогенные; экзогенные и техногенные геологические процессы; картирование; геоэкологические последствия проявления геодинамики.

Для цитирования. Матвеев А. В., Зерницкая В. П. Современные геологические процессы на территории Белорусского Поозерья // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 163–170.

MODERN GEOLOGICAL PROCESSES ON THE TERRITORY OF THE BELARUSIAN POOZER'E

A. V. Matveyev, V. P. Zernitskaya

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

Abstract. The schemes of the most common types of modern geological processes are constructed and the features of their manifestation are presented. It is shown that the extreme forms of modern geodynamics are cause the deformations of natural complexes, agricultural lands, buildings and other structures, determine the formation of geochemical and geophysical anomalies, significantly worsen the geotechnical properties of the ground, reduce the soil fertility. In this regard, these processes can be considered as natural and natural-anthropogenic dangers of the lithospheric class.

Key words: endogenous; exogenous and tehnogenous geological processes; mapping; geo-ecological consequences of geodynamics.

For citation. Matveyev A. V., Zernitskaya V. P. Modern geological processes on the territory of the Belarusian Poozer'e. *Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 163–170.

Экологическая обстановка в большинстве регионов Земли постоянно ухудшается в связи с ростом населения, промышленного и сельскохозяйственного производства, активизацией природных и природно-антропогенных геологических процессов. Поэтому все большее значение приобретают исследования по проблемам природопользования. Весьма актуальны подобные исследования и для Беларуси, территория которой претерпела значительное воздействие при строительстве крупных инженерных сооружений, добывче полезных ископаемых, интенсивной сельскохозяйственной деятельности и др. Именно поэтому многие научные центры НАН Беларуси, ВУЗов страны, отраслевые научно-исследовательские и проектные институты активно занимаются природоохранной проблематикой. Одним из направлений работ является изучение особенностей проявления экстремальных форм современной геодинамики и их влияния на геоэкологическую обстановку. В настоящее время в стране уже выполнен ряд работ подобного профиля [1–4]. Однако проведенные исследования содержат достаточно общие выводы и обоснованы относительно ограниченным фактическим материалом. Естественно, что для расширения возможностей практического использования результатов научных разработок требуется их детализация. Одним из этапов такой детализации являются проводимые в Институте природопользования НАН Беларуси работы по проекту № X18MC–007 Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований «Исследование эволюции природных обстановок и экологических условий на территории Белорусского и Литовского Поозерий в голоценовое время, оценка качества окружающей среды для проживания населения».

Для выявления особенностей современной геодинамики этого региона использованы результаты многолетних полевых исследований, анализ опубликованной литературы, крупно- и среднемасштабных топокарт, материалов дистанционных съемок, разрезов буровых скважин, геологических и геоморфологических карт, других картографических построений, выполненных под руководством и при непосредственном участии авторов (карты мощностей четвертичного покрова и отдельных горизонтов этой толщи, коэффициентов меандрирования и уклонов русел рек и др.).

Применение комплексной методики позволило получить новые данные по проявлению современных эндогенных, экзогенных и техногенных геологических процессов.

Эндогенные процессы. На территории Белорусского Полозерья современные эндогенные геологические процессы представлены в виде активизации разрывных нарушений, вертикальных и горизонтальных движений земной коры, ее сотрясаемости и движений в пределах кольцевых структур (КС). Однако, имея ввиду, что интенсивность тектонических процессов в зонах КС невелика, их влияние на природные комплексы и геоэкологическую обстановку минимальное, характеристика этого вида процессов специально не рассматривалась, так как одной из конечных целей исследований являлась оценка воздействия различных видов геодинамики на качество окружающей среды.

Активизация разрывных структур. На территории региона по разработанной ранее методике [5] выделен 71 участок разрывных нарушений, в зонах которых на современном этапе активно проявляются геодинамические процессы (рис. 1). Эти линейные структуры ориентированы субширотно (21 %), субмеридионально (29 %), в направлении северо-восток–юго-запад (21 %) и северо-запад–юго-восток (29 %). При этом субширотные и вытянутые с северо-востока на юго-запад формы распределены относительно равномерно, субмеридиональные и простирающиеся с северо-запада на юго-восток заметно преобладают в полосе вытянутой с севера на юг между Полоцком и Витебском.

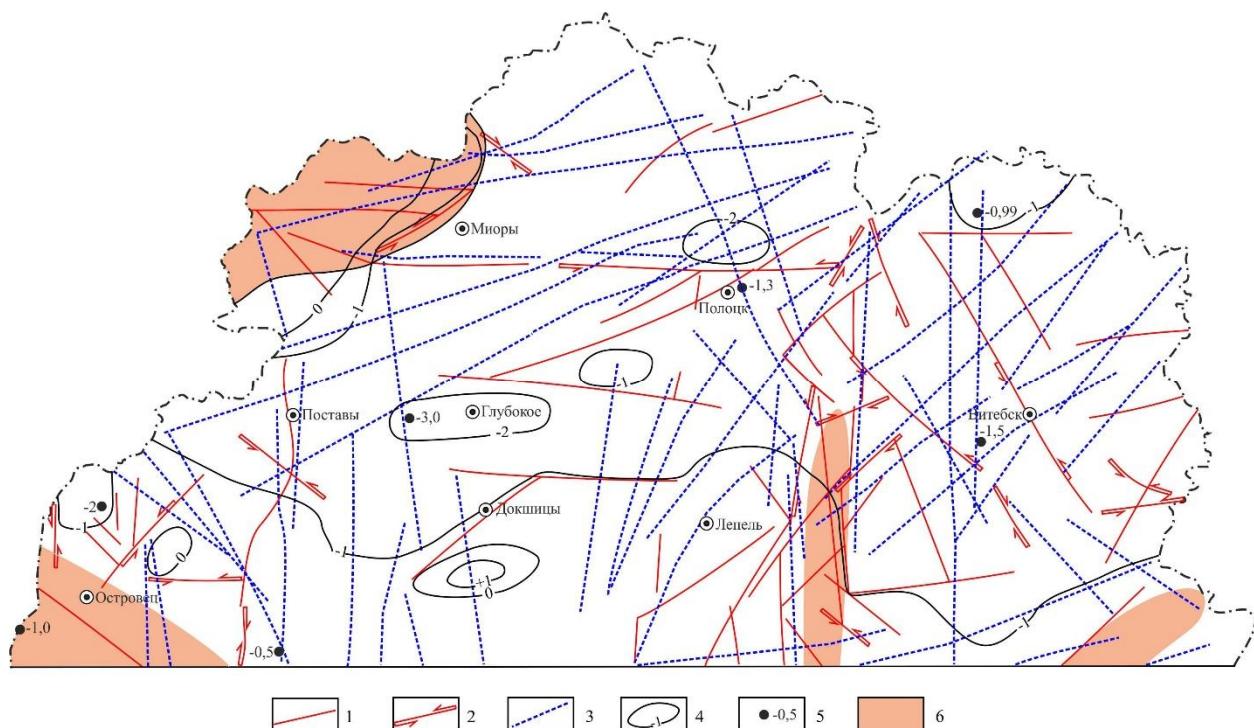


Рис. 1. Проявление современных эндогенных процессов: 1 – активные разломы; 2 – участки проявления горизонтальных движений земной коры; 3 – наиболее протяженные топо- и космомлинеаменты; 4 – изолинии скоростей современных вертикальных движений земной коры, мм/год; 5 – отдельные значения скоростей вертикальных движений земной коры, мм/год; 6 – территории, в пределах которых возможно проявление сейсмических процессов интенсивностью более 5 баллов

Fig. 1. Manifestation of modern endogenous processes: 1 – active faults; 2 – areas of horizontal movements of the crust; 3 – the longest topo and cosmolinaments; 4 – velocity lines of the current vertical movements of the crust, mm/year; 5 – individual values of the velocities of the vertical movements of the crust, mm/year; 6 – areas within which seismic processes with an intensity of more than 5 points are possible

Длины фрагментов активных разломов варьируют в интервале от 10 км до 100 км, но преобладают формы, простирающиеся на 20–60 км.

К разрывным структурам кроме разломов относятся топо- и космолинеаменты. В зонах наиболее протяженных из них, по данным аудиомагнитотеллурического зондирования [6–8], также могут возникать определенные геохимические и геофизические аномалии. На исследованной территории выделено около 50 линеаментных зон, которые могут оказывать влияние на геэкологическую обстановку. Среди этих структур 18 % ориентировано субширотно, 34 % субмеридионально, 14 % в направлении северо-запад–юго-восток и 34% с северо-востока на юго-запад. Длина линеаментов – до 160–230 км, чаще всего – 30–75 км.

Вертикальные движения земной коры проявляются на изученной территории повсеместно, их скорость варьирует от минус 3,0 мм/год до плюс 1 мм/год, причем несколько более интенсивно прогибается центральная часть Белорусского Поозерья. В зонах активных разломов вертикальные перемещения земной поверхности могут протекать с большей интенсивностью. Их скорости нередко составляют 10–20 мм/год и более, причем направление перемещения меняется от года к году и чаще [9].

Проведенные исследования по комплексу геолого-геоморфологических данных [10] позволили также выделить 18 отрезков разрывных нарушений, в пределах которых происходят горизонтальные движения земной коры. Длина этих отрезков – до 20–30 км, единично – до 70 км. Преобладающая ориентировка подобных структур несколько отличается от активных разломов в целом, так как горизонтальные движения чаще всего проявляются на разломах северо-западного–юго-восточного простирания. Что касается скоростей этих движений, то данных по ним немного. В основном эти измерения проведены на смежных территориях. Полученные величины варьируют в интервале 20–50 мм/год [9].

Кроме того, установлено [9], что на территории Белорусского Поозерья возможны проявления сейсмических процессов, интенсивность которых в основном не превышает 4–5 баллов, однако вдоль Ошмянского и Чашникского разломов, на участках вдоль границы с Литвой и Латвией, в крайней северо-западной части региона, а также в районе Оршанского горста не исключены проявления сейсмичности до 6 баллов и более [11].

Проявления перечисленных видов современных эндогенных геологических процессов, как показали проведенные ранее исследования [2, 3, 5], оказывают серьезное влияние на геэкологическую обстановку, так как могут сопровождаться формированием геофизических и геохимических аномалий, смещением поверхностей и слоев, деформациями зданий и других сооружений, активизацией ряда экзогенных процессов (обвалы, оползни и др.), увеличением числа различного типа аварий и сбоями в работе электронной аппаратуры.

Экзогенные процессы. Проанализированы только те виды экзогенных процессов, которые могут заметно влиять на геэкологическую обстановку. Среди них необходимо отметить эрозию временных водотоков, гравитационные, карстовые, суффозионные процессы, наводнения, подтопления, процессы заболачивания (рис. 2).

Плоскостная эрозия временных водотоков по расчетам, выполненным в соответствии с работой [12], наиболее заметно проявляется на территории Браславской, Городокской и Витебской возвышенностей с интенсивностью 6 мм/год, на территории Оршанской возвышенности – до 8 мм/год. В пределах других краевых ледниковых образований значения этого показателя чаще всего только несколько превышают 4 мм/год.

Наибольшие величины плоскостного смыва связаны с наиболее крутыми и длинными склонами южной экспозиции, сложенными пылеватыми и мелкопесчаными отложениями.

Линейная эрозия временных водотоков чаще всего приурочена к склонам долины Западной Двины, к Витебской, Городокской, Ушачской возвышенностям, реже – к другим площадям распространения краевых ледниковых образований, особенно при условии пересечения их реками. Длина оврагов обычно 100–150 м, реже – 200–300 м, но на склонах долины Западной Двины (в районе восточнее г. Друя), в низовьях Сарьянки, на Витебской возвышенности иногда достигают 1 км и более, максимальные глубины – до 20 м, но чаще – не более 5–7 м.

Плотность оврагов изменяется от 1 до 6 шт/км². В долине Западной Двины западнее Новополоцка 4,1–6,0 шт/км², восточнее этого города – 2,1–3,0 шт/км², на Витебской и Городокской возвышенности – 1,1–4,0 шт/км², Ушачской возвышенности 1,1–2,0 шт/км² и примерно такие же значения в пределах других участков распространения краевого ледникового рельефа.

Гравитационные процессы особенно активно протекают в долинах Западной Двины, Вилии и их притоков (реки Ошмянка, Сарьянка, Дрисса и др.). Например, в долине Западной Двины в районе г. п. Друя у костела известен относительно крупный оползень шириной 40 м. Обвально-оползневые процессы отмечены также в береговой зоне озер Нарочь, Мядель, Езерище, Богинское, Ричи и др. 20 августа 2006 г. зарегистрирован оползень на склоне оврага по ул. Правды в Витебске, в результате которого образовалась выемка глубиной 18–20 м и шириной 50 м. Похожий процесс имел место

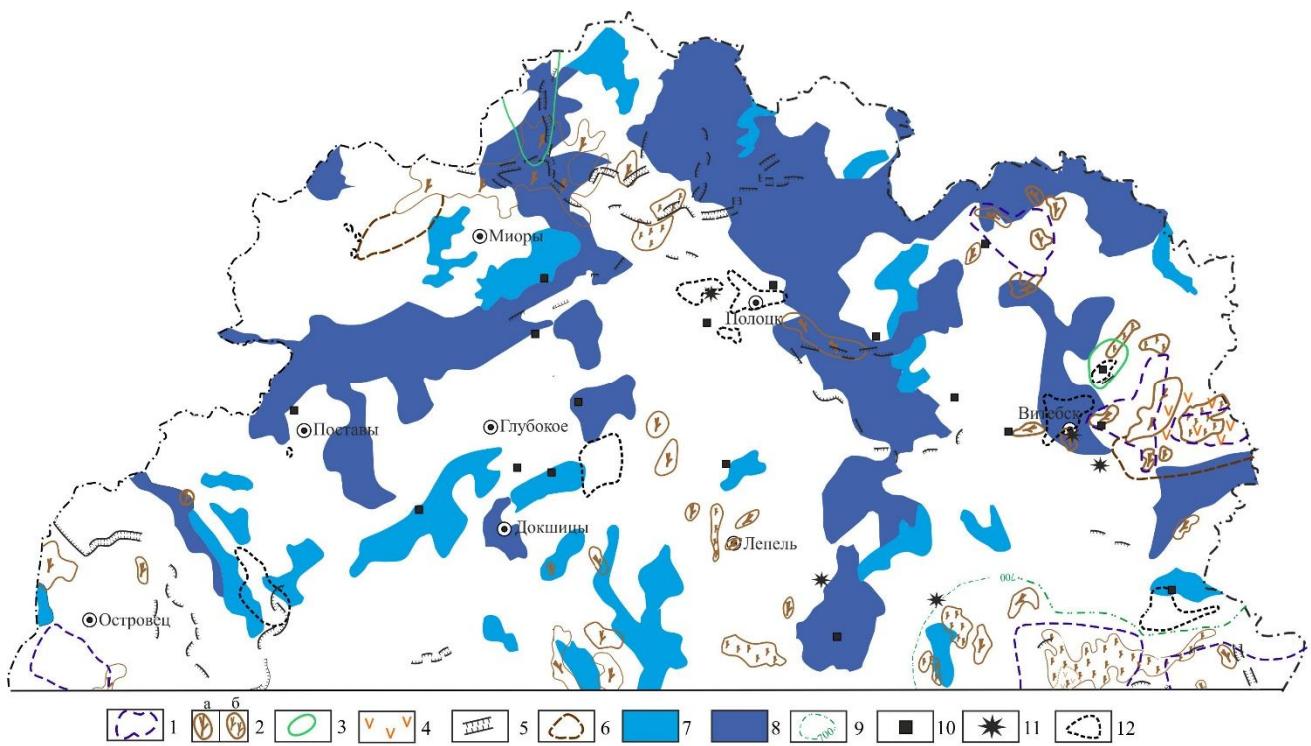


Рис. 2. Проявление современных экзогенных и техногенных процессов: 1 – плоскостная эрозия (более 4 мм/год); 2 – овражная эрозия (а – средней и малой интенсивности; б – интенсивная); 3 – потенциальные проявления карста; 4 – супфузия; 5 – гравитационные процессы (обвалы, оползни, осыпи); 6 – потенциальные проявления гравитационных процессов; 7 – процессы торфонакопления по [13]; 8 – процессы заболачивания минеральных грунтов по [13]; 9 – интегральная оценка интенсивности проявления современных экзогенных процессов (более 700 т/км²/год); 10 – крупные карьеры; 11 – свалки; 12 – комплекс экстремальных техногенных и техногенно обусловленных процессов

Fig. 2. Manifestation of modern exogenous and man-made processes: 1 – planar erosion (more than 4 mm/year); 2 – gully erosion (a – medium and low intensity; b – intensive); 3 – potential manifestations of karst; 4 – suffusion; 5 – gravitational processes (landslides, landslides, scree); 6 – potential manifestations of gravitational processes; 7 – peat accumulation processes according to source [13]; 8 – mineral soil swamping processes according to source [13]; 9 – integral assessment of the intensity of the manifestation of modern exogenous processes (more than 700 t/km²/year); 10 – large careers; 11 – dumps; 12 – a complex of extreme tons man-made and man-made processes

на склоне оврага в Витебске по Московскому проспекту [4]. Многочисленные осыпи происходят на склонах крупных карьеров (Гралево, Улазовичи и др.). Определенную опасность представляют также гравитационные процессы на отвалах отходов промышленных производств.

Карст и супфузия. Четко выраженных проявлений в земной поверхности карстовых процессов на изученной территории пока зарегистрировано мало, так как карстующиеся породы (доломиты и известняки) образуют только локальные выходы на земную поверхность в долинах Западной Двины к северо-востоку от Витебска, Сарьянки и Днепра (район Орши). На остальной территории эти породы перекрыты толщей ледниковых отложений. Однако при незначительной глубине их залегания (до 30–40 м) соответствующие площади могут рассматриваться в качестве потенциально опасных проявлений карста.

На территории Белорусского Полесья естественные процессы супфузии распространены также на ограниченных участках восточнее Витебска, вдоль границы с Россией. Здесь встречаются заливы диаметром 30–50 – 100–120 м и глубиной 0,1–1,5 м. Плотность таких форм не превышает 10 шт/км². Кроме того, известны проявления супфузии под влиянием техногенных процессов, сопровождающиеся возникновением воронок глубиной до 1 м и более и диаметром 1,5–3,0 м, которые образуются при прорыве водопроводных труб [4].

Наводнения и подтопления. При анализе возможных последствий наводнений на изученной территории обращалось внимание только на воздействие водного потока на коренные берега, т. е.

на геологические аспекты заметного подъема уровня вод в речных долинах, которые сводятся в основном к активизации описанных выше обвально-оползневых процессов на склонах.

Что касается подтоплений, связанных с естественным подъемом грунтовых вод, их негативное влияние обусловлено разжижением грунтов, их частичным выносом и возможными, но относительно редкими в регионе деформациями различных сооружений. Подобный вид подтоплений проявляется во многих населенных пунктах, расположенных на низких террасах рек или просто пониженных территориях. Например, в Витебске подтопленной может считаться вся территория, значительные площади подтоплены также в Полоцке, Верхнедвинске [4]. Кроме того, подтопления могут происходить при техногенных авариях и иных утечках вод.

Процессы торфонакопления и заболачивания минеральных грунтов широко распространены на исследованной территории. Это обусловлено характером рельефа (низины, ограниченные цепями краевого грядово-холмистого рельефа) и преобладанием среди покровных отложений глинистых разностей. Регион входит в состав области верховых болот холмисто-озерного ландшафта [14]. В пределах этой области на торфяники приходится около 7 % всей площади. Средняя мощность торфа – 2,0 м, но нередко она достигает 3,0–4,0, а на локальных участках – иногда до 5,0–8,0 м (западнее Докшиц – 5,6–6,0 м, юго-западнее Постав – 5,0–7,0, восточнее-юго-восточнее Полоцка – 5,8, западнее-юго-западнее Миор и юго-восточнее Лепеля – 7,0–7,8 м). Верхний слой торфяной залежи образует сфагновый мох с зольностью до 5 %. Реже встречаются низинные торфяники, которые в основном тяготеют к озерным котловинам. Торфяные залежи в естественном состоянии характеризуются близповерхностным и поверхностным стоянием грунтовых вод и относятся к категории неустойчивых в инженерном отношении грунтов.

Значительно большие площади, чем торфяные болота, занимают супесчаные, суглинистые и глинистые отложения с длительным периодическим переувлажнением поверхностными и грунтовыми водами [13]. Развитие в разной степени выраженных процессов заболачивания удорожает или делает вообще невозможным строительство зданий и сооружений [4], ухудшает качество питьевых вод, может приводить к формированию геохимических аномалий, усложняет проведение сельскохозяйственных работ и др.

Необходимо отметить, что проявления экзогенной геодинамики могут вызывать определенный дискомфорт у населения, так как экстремальные виды экзогенных процессов приводят к смещению, смыву, размыву, растворению и накоплению отложений, формируют комплекс просадочных и других форм на земной поверхности, предопределяют подтопление населенных пунктов, образование крайне неустойчивых грунтов, заливание водотоков и водоемов, запыление атмосферного воздуха, разрушение сельскохозяйственных угодий, природных комплексов и снижение плодородия почв.

Техногенные процессы. Среди наиболее активных современных техногенных процессов на территории Белорусского Поозерья необходимо в первую очередь отметить нарушения земной поверхности и верхнего слоя отложений платформенного чехла при добыче полезных ископаемых, гидротехническом, дорожном и жилищном строительстве (рис. 2).

При разработке месторождений полезных ископаемых создаются новые формы рельефа, которые нередко имеют весьма значительные размеры. Например, карьер по добыче доломитов «Гралево» в поперечнике достигает 2 км, его глубина – до 40 м, на бортах накоплены отвалы вскрытых пород площадью около 40 га и высотой до 20–25 м. При добыче глины карьеры имеют глубины до 10–12 м, площадь, измеряемую десятками гектаров (карьер северо-восточнее оз. Лукомльское имеет площадь более 84 га). Формы рельефа, создаваемые при разработке песчаных и песчано-гравийных отложений, имеют глубины до 10–15 м, реже – до 30 м, а площади измеряются до 10 га (карьер Улазовичи западнее Витебска – 3 га, с учетом отработанной и застраивающей части – около 10 га; карьер юго-восточнее г. п. Ушачи у оз. Звонь – 7 га).

На торфяных месторождениях добыча ведется на площади около 230 км², а уже выработанные месторождения занимают 320 км² [4, 13]. Самые крупные карьеры имеют глубины чаще до 2 м и площади, измеряемые сотнями гектаров, например, в районе Осинторфа, у д. Крулевщизна юго-восточнее г. Глубокое они превышают 700 га.

При дорожном и гидротехническом строительстве также перемещаются значительные объемы покровных отложений, образуются насыпи, выемки, канавы и другие типы земляного полотна, которые простираются на многие сотни километров, при ширине насыпей до 15–20 м, высоте до 1–2 м, ширине каналов от 2–3 до 10–12 м и глубине чаще всего до 1–3 м.

Довольно заметная трансформация природных комплексов происходит при формировании свалок бытовых и промышленных отходов. Распределение отходов по площади весьма пестрое. Максимальные их объемы сосредоточены вблизи практически всех более или менее крупных населенных пунктов. Самые значительные полигоны имеют площадь, измеряемую десятками гектаров, и высоту 20–30 м. Так, на юго-восточной окраине Витебска свалка занимает почти 30 га, а ее высота

достигает 30 м, юго-западнее г. Сенно – 22 га и 10 м, западнее-юго-западнее Полоцка – 7 га и 20 м, южнее г. Чашники (Лукомльский полигон) – около 3 га до 8-10 м соответственно. Кроме таких мест скопления отходов известно свыше 500 миниполигонов, значительная часть которых формируется стихийно, без всяких законных оснований. Их площадь чаще всего составляет до 1 га, высота насыпи не превышает 1–2 м.

Помимо образования новых форм рельефа (насыпи, свалки, отвалы) техногенные процессы вызывают загрязнение покровных отложений, которое происходит вдоль транспортных магистралей, на территории и в окрестностях населенных пунктов, промышленных предприятий и др. К примеру, вокруг более или менее крупных городов в самом верхнем слое отложений повышены концентрации Ni, Cr, Mn, Zn, V, Cu, Ba и некоторых других элементов, причем их содержание варьирует от несколько выше фоновых до превышающих ПДК величин. Например, в Полоцке локально количество Zn в почвенных пробах превышает 2000 г/т (ПДК 300 г/т), Pb – 150 г/т (ПДК 30 г/т); в Витебске повышены концентрации Pb, Cu, Ni до 100 г/т, у базы «Вторчермета» – Cu, Zn, Pb, Cr – до 1000 г/т; заметно выше фоновых в покровных отложениях в районе Новополоцка величины Cd, Zn, Pb, Cu [15]. Интенсивное техногенное загрязнение Zr, Pb, Mn, Cu, Ti, Ni, Cr, V и другими элементами регистрируется также в полосе 100–150 м вдоль наиболее крупных транспортных магистралей.

Таким образом, техногенные геологические процессы сопровождаются формированием особых форм рельефа, геохимических аномалий, могут разрушать сельскохозяйственные угодья, здания и сооружения, природные комплексы вплоть до появления бэдленда, способствовать вторичному заболачиванию, повышению интенсивности почти всего комплекса экзогенных процессов, активизации проявлений сейсмичности, т. е. наносят материальный ущерб и, несомненно, ухудшают геоэкологическую обстановку.

Выводы

1. На территории Белорусского Поозерья, несмотря на относительно выровненный рельеф и положение в пределах древней платформы, довольно разнообразно проявляются современные геологические процессы.

2. Из эндогенных процессов наиболее характерными являются активизация разрывных нарушений, вертикальные и горизонтальные движения земной коры, сейсмичность; из экзогенных процессов – эрозия временных водотоков, обвально-оползневые процессы, заболачивание территории; из техногенных процессов – воздействие на земную поверхность при добыче полезных ископаемых и строительных работах.

3. Экстремальные формы проявления современной геодинамики могут создавать определенный дискомфорт для населения, который в обобщенном виде сводится: к нарушению природных комплексов, сельскохозяйственных угодий, зданий и сооружений; к ухудшению инженерно-геологических свойств грунтов, что создает дополнительные трудности при выборе мест строительства крупных инженерных сооружений; к влиянию на здоровье населения, особенно в зонах геохимических и геофизических аномалий; к увеличению материальных затрат, необходимых для минимизации неблагоприятных последствий, реализации природных и природно-антропогенных опасностей литосферного класса.

Список использованных источников

1. Современная динамика рельефа Белоруссии ; под ред. Б. Н. Гурского, А. В. Матвеева. – Минск, 1991. – 102 с.
2. Гарецкий, Р. Г. О постановке геолого-геофизических исследований в геопатогенных зонах / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Карапаев // Літасфера. – 2012. – № 2 (37). – С. 83–94.
3. Матвеев, А. В. Последствия проявления опасных геологических процессов на территории Беларуси / А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко // Природопользование. – 2016. – Вып. 29. – С. 30–37.
4. Инженерная геология Беларуси. Часть 2 : Инженерная геодинамика Беларуси / А. Н. Галкин [и др.]. – Витебск, 2017. – 452 с.
5. Матвеев, А. В. Активизация разломов в квартере на территории Беларуси / А. В. Матвеев // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. – Ростов-на-Дону, 2013. – С. 426–428.
6. Матвеев, А. В. Линеаменты территории Беларуси / А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко. – Минск, 2001. – 124 с.
7. О природе регионального линеамента, выделенного по космическим снимкам в Центральной Беларуси / В. Н. Астапенко [и др.] // Исследование Земли из Космоса. – 1999. – № 6. – С. 71–75.
8. Особенности строения линеаментной зоны, выявленной по топокартам в Центральной Беларуси / В. Н. Астапенко [и др.] // Доклады НАН Беларуси. – 2000. – Т. 44, № 3. – С. 84–86.

9. Матвеев, А. В. Особенности современного морфогенеза на территории Беларуси / А. В. Матвеев // Вопросы географии. Сб. 140 : Современная геоморфология. – М., 2015. – С. 380–385.
10. Современные горизонтальные движения земной коры на территории Воложинского и Солигорского геодинамических полигонов (Беларусь) / А. В. Матвеев [и др.] // Літасфера. – 2002. – № 1 (16). – С. 113–117.
11. Сейсматектанічна карта. М 1 : 4 000 000 / Р. Я. Айзберг [i інш.] // Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 49.
12. Инструкция по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на европейской территории СССР. – Л., 1979. – 62 с.
13. Глебы / М. I. Смелян [i інш.] // Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 100–101.
14. Торф / Н. Н. Бамбалов [и др.] // Полезные ископаемые Беларусь. – Минск, 2002. – С. 182–194.
15. Матвеев, А. В. Геохимия четвертичных отложений Беларуси / А. В. Матвеев, В. Е. Бордон. – Минск, 2013. – 191 с.

References

1. Sovremennaya dinamika rel'efa Belorussii. Pod red. B. N. Gurskogo, A. V. Matveeva [Modern dynamics of the relief of Belarus; edited by B. N. Gursky, A. V. Matveyev]. Minsk, 1991, 102 p. (in Russian).
2. Gareckij R. G., Karataev G. I. O postanovke geologo-geofizicheskikh issledovanij v geopatogennyh zonah [On the formulation of geological and geophysical studies in geopathogenic zones]. Litasfera = Lithosphere, 2012, no. 2 (37), pp. 83–94 (in Russian).
3. Matveev A. V., Nechiporenko L. A. Posledstviya proyavleniya opasnyh geologicheskikh processov na territorii Belarusi [Consequences of the manifestation of hazardous geological processes in the territory of Belarus]. Prikrodonopol'zovanie = Nature Management, 2016, vol. 29, pp. 30–37 (in Russian).
4. Galkin A. N. [i dr.]. Inzhenernaya geologiya Belarusi. Chast' 2. Inzhenernaya geodinamika Belarusi [Engineering geology of Belarus. Part 2. Engineering geodynamics of Belarus]. Vitebsk, 2017, 452 p. (in Russian).
5. Matveev A. V. Aktivizaciya razlomov v kvartere na territorii Belarusi [Activization of faults in the quarter on the territory of Belarus]. Fundamental'nye problemy kvartera, itogi izuchenija i osnovnye napravleniya dal'nejshih issledovanij [Fundamental problems of the quarter, the results of the study and the main directions for further research]. Rostov-on-Don, 2013, pp. 426–428 (in Russian).
6. Matveev A. V., Nechiporenko L. A. Lineamenti territorii Belarusi [Lineaments of the territory of Belarus]. Minsk, 2001, 124 p. (in Russian).
7. Astapenko V. N. [i dr.]. O prirode regional'nogo lineamenta, vydelennogo po kosmicheskim snimkam v Central'noj Belarusi [On the nature of a regional lineament identified by satellite imagery in Central Belarus]. Issledovanie Zemli iz Kosmosa = Study of Earth from Space, 1999, no. 6, pp. 71–75 (in Russian).
8. Astapenko V. N. [i dr.]. Osobennosti stroeniya lineamentnoj zony, vyvavlennoj po topokartam v Central'noj Belarusi [Features of the structure of the lineament zone, identified by topographic maps in Central Belarus]. Doklady NAN Belarusi = Reports of the National Academy of Sciences of Belarus, 2000, vol. 44, no. 3, pp. 84–86 (in Russian).
9. Matveev A. V. Osobennosti sovremennoj morfogeneza na territorii Belarusi [Features of modern morphogenesis in the territory of Belarus]. Voprosy geografii. Sb. 140 = Geography issues. Sat. 140. Moscow, 2015, pp. 380–385 (in Russian).
10. Matveev A. V. [i dr.]. Sovremennye gorizontal'nye dvizheniya zemnoj kory na territorii Volozhinskogo i Soligorskogo geodinamicheskikh poligonov (Belarus') [Modern horizontal movements of the earth's crust on the territory of the Volozhinsky and Soligorsky geodynamic polygons (Belarus)]. Litasfera = Lithosphere, 2002, no. 1 (16), pp. 113–117 (in Russian).
11. Ajzberg R. Ya. [i insh.] Sejsmatehktanichnaya karta. M 1 : 4 000 000 [Seismic map. M 1 : 4 000 000]. Nacyyanal'ny atlas Belarusi = National atlas of Belarus. Minsk, 2002, p. 49 (in Belarusian).
12. Instrukciya po opredeleniyu raschetnyh hidrologicheskikh harakteristik pri proektirovaniyu protivoehrozionnyh meropriyatij na evropejskoj territorii SSSR [Instructions for determining the calculated hydrological characteristics in the design of anti-erosion measures in the European territory of the USSR]. Leningrad, 1979, 62 p. (in Russian).
13. Smelyan M. I. [i insh.]. Gleby [Soils]. Nacyyanal'ny atlas Belarusi = National atlas of Belarus. Minsk, 2002, pp. 100–101 (in Belarusian).
14. Bambalov N. N. [i dr.]. Torf [Peat]. Poleznye iskopaemye Belarusi = Minerals of Belarus, 2002, pp. 182–194 (in Russian).
15. Matveev A. V., Bordon V. E. Geohimiya chetvertichnyh otlozhenij Belarusi [Geochemistry of Quaternary deposits of Belarus]. Minsk, 2013, 191 p. (in Russian).

Информация об авторах

Матвеев Алексей Васильевич – академик, д-р геол.-мин. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: matveyev@ecology.basnet.by

Зерницкая Валентина Петровна – канд. геогр. наук, вед. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Беларусь). E-mail: valzern@gmail.com

Information about the authors

Aleksey Matveyev – Academician, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Chief Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: matveyev@ecology.basnet.by

Valentina Zernitskaya – Ph. D. (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: valzern@gmail.com

НЕТРАДИЦИОННЫЕ ИСТОЧНИКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ В НЕДРАХ БЕЛАРУСИ

Р. Е. Айзберг¹, Я. Г. Грибик¹, В. Н. Бескопыльный²

¹*Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь,*

²*Производственное объединение «Белоруснефть», Гомель, Беларусь*

Аннотация. Нетрадиционные («сланцевые») источники углеводородного сырья (УВС) приурочены к резервуарам низкопроницаемых, преимущественно глинистых, карбонатных и кремнеземных пород, коллекторские свойства которых определяются микро- и наноразмерностью пустотного пространства. Они включают малоподвижную или неподвижную части УВС, для поисков, разведки и добычи которых используются специальные технологии. В статье рассмотрены понятийная база и терминология нефтегазовой геологии при изучении нетрадиционных источников УВС, даны их основные структурно-вещественные и генетические характеристики для Оршанского, Подлясского-Брестского и Припятского осадочных бассейнов Беларуси. Определена методология исследований нетрадиционных источников УВС применительно к недрам Беларуси.

Ключевые слова: нетрадиционные источники углеводородного сырья; недра Беларуси; низкопроницаемые породы; полуколлекторы; глинистые («сланцевые») резервуары; плотные карбонатные и кремнеземные резервуары.

Для цитирования. Айзберг Р. Е., Грибик Я. Г., Бескопыльный В. Н. Нетрадиционные источники углеводородного сырья в недрах Беларуси // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 171–187.

NON-TRADITIONAL SOURCES OF HYDROCARBON RAW MATERIALS IN SUBSOIL OF BELARUS

R. E. Aizberg¹, Y. G. Gribik¹, V. N. Beskopylnyi²

¹*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus,*

²*State Production Association 'Belorusneft' Gomel, Belarus*

Abstract. Non-traditional ("shale") sources of hydrocarbon raw materials (HCM) are confined to reservoirs of low-permeable, mainly clay, carbonate and silica rocks, whose reservoir properties are determined by the micro- and nano-dimensionality of the hollow space. They include the inactive or stationary parts of the HCM, for which special technologies are used for prospecting, exploration and production. The article discusses the conceptual framework and terminology of oil and gas geology in the study of the non-traditional sources of hydrocarbons, given their basic structural and material characteristics for the Orsha, Podlyassko-Brest and Pripyat sedimentary basins of Belarus. The methodology of the research of the non-traditional sources of hydrocarbons in relation to the depths of Belarus has been determined.

Key words: non-traditional sources of hydrocarbons, subsoils of Belarus, low-permeability rocks, semi-collectors, clay ("shale") reservoirs, dense carbonate and silica reservoirs.

For citation. Aizberg R. E., Gribik Y. G., Beskopylnyi V. N. Non-traditional sources of hydrocarbon raw materials in subsoil of Belarus. *Nature Management*. 2019, no. 1, pp. 171–187.

Понятийная база и терминология. В нефтегазовой геологии выделяют традиционные и нетрадиционные виды источников углеводородного сырья (УВС).

Традиционные залежи УВС заключены в средне- и высокопроницаемых породах и относятся к сильно кластеризованным нефтегазоносным системам. Рассматриваемые залежи приурочены к локализованным геологическим структурам (ловушкам), представляющим флюидосодержащими коллекторами, экранированными непроницаемыми породами в сводовой части и контактом с пластовыми водами в подошвенной части (рис. 1). При этом углеводороды (УВ) насыщают средне- и высоко-проницаемые породы продуктивного пласта и характерны высокой степенью гидродинамической связи. Сложность сильно кластеризованной нефтегазоносной системы определяется иерархической подчиненностью основных тектоно-формационных кластеров (ведущий – осадочно-породный нефтегазоносный бассейн), контролирующих процессы нефтегазообразования и нефтегазонакопления. Газы традиционных залежей обычно принадлежат к высоконапорным системам.

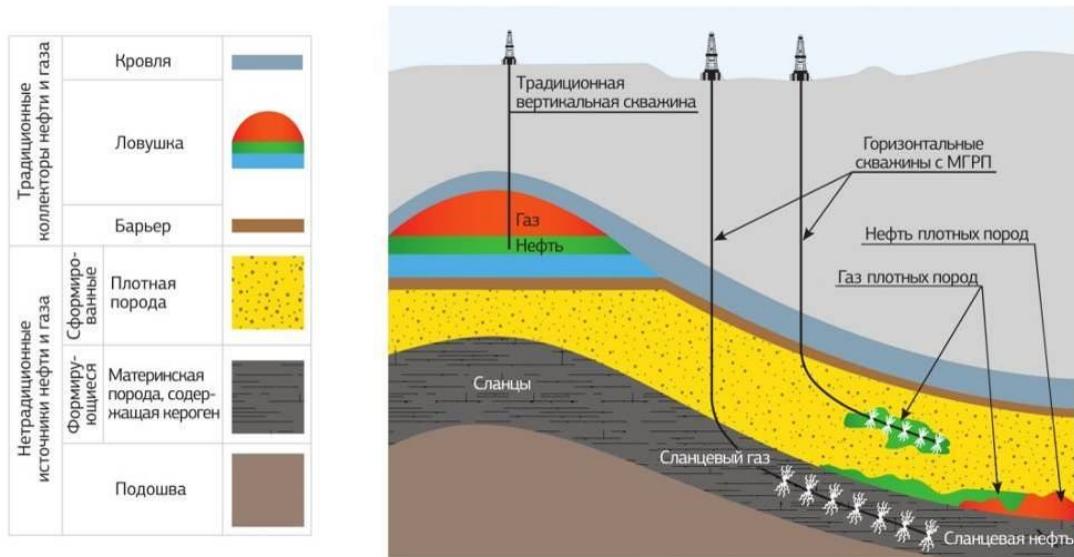


Рис. 1. Классификация углеводородного сырья по способу залегания в недрах [1], с дополнениями

Fig. 1. Hydrocarbons raw material classification according to the method of occurrence in the subsoil [1], with additions

Нетрадиционные скопления «сланцевых» УВС относятся к слабо кластеризованным нефтегазоносным низконапорным системам и приурочены к обширным ареалам распространения низкопроницаемых сланцевато-глинистых, кремнеземных и карбонатных формаций и субформаций. Скопления этого типа не имеют предопределенной связи с тектоническими ловушками. Коллекторы нетрадиционных скоплений характеризуются рассеянной газонефтенасыщенностью в виде газовых пузырьков, в сорбированном или окклюдиированном состоянии газовых включений, микрокапсул нефти, приуроченных к микро- и наноразмерным порам и трещинам, отсутствием подошвенных вод или единого контакта с ними, отсутствием или резко сниженной гидродинамической связи дискретных включений УВ. Для «сланцевых» резервуаров УВ могут быть характерны обильные газонефтепроявления по разрезу при отсутствии стабильных промышленных притоков.

Согласно американской классификации Petroleum Resources Management System (PRMS), нетрадиционные источники УВ подразделяются следующим образом (табл. 1).

В США к нетрадиционным «сланцевым» источникам УВ относятся резервуары с проницаемостью пород ниже 0,1 мД. Следует иметь в виду, что в средствах массовой информации и даже в официальных публикациях все виды нетрадиционных источников углеводородного сырья (НИУВС) нередко относят к «сланцевым» газу и нефти.

«Сланцевые» слабонапорные углеводородные скопления УВ в низкопроницаемых породах по условиям залегания подразделяются на две группы:

- Эталонные скопления – в микро- и наноколлекторах формаций непрерывного типа (continuous-type) при отсутствии предопределенной связи со структурными (тектоническими) ловушками локального и зонального ранга.
- Комбинированные скопления в единых разрезах высоко-, средне- и низкопроницаемых пород, приуроченные к структурным, литологическим или стратиграфическим ловушкам.

Таблица 1. Нетрадиционные источники углеводородов

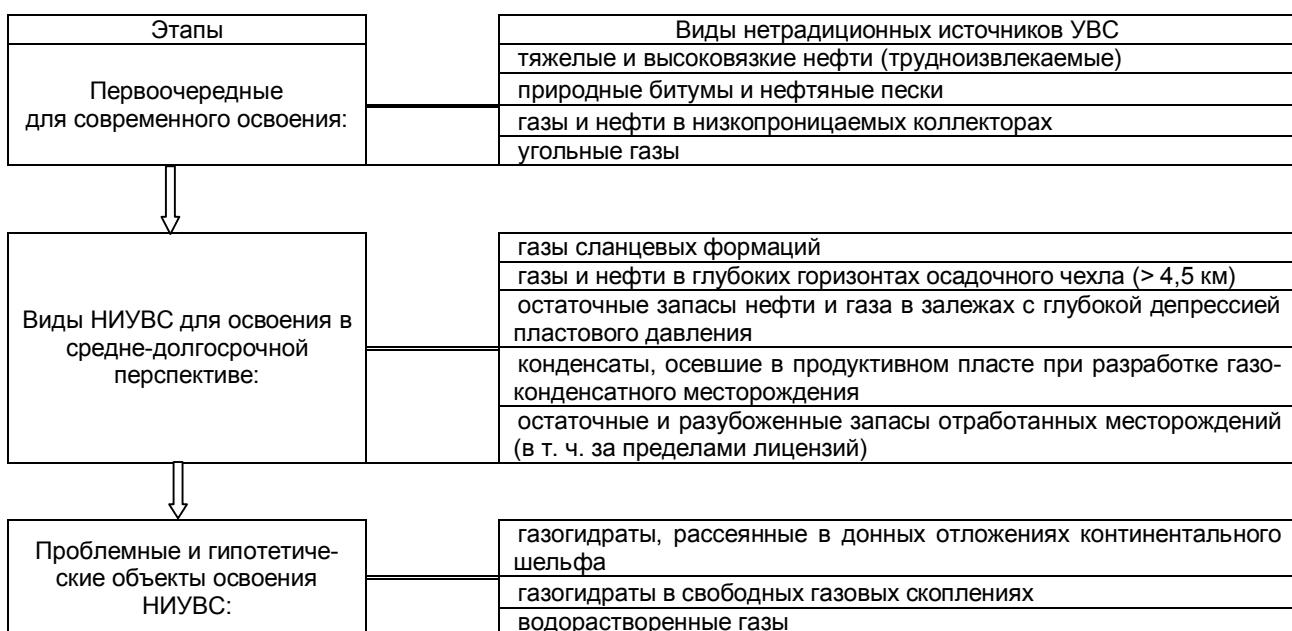
Table 1. Non-traditional sources of hydrocarbons

Газ	Нефть
Газ сланцевато-глинистых пород (shale gas)	Нефть сланцевато-глинистых пород
Газ плотных пород (tight gas)	Сверхтяжелая нефть
Газогидраты	Битумы (битуминозные пески; oil sand)
Метан угольных пластов	

В табл. 2 приведены по данным ВНИГРИ (Санкт-Петербург) несколько отличная от табл. 1 версия основных видов нетрадиционных источников углеводородного сырья (УВС) и этапность их вовлечения в процессы освоения. В. П. Якуцени с соавторами [2] определяют традиционные и нетрадиционные виды УВС по технологическим и экономическим критериям их освоения. *Традиционные виды* включают подвижную нефть (газ) в недрах, для извлечения которых используются современные эффективные технологии освоения, соответствующие по себестоимости добычи текущему мировому уровню цен на углеводородное сырье. *Нетрадиционные виды* – неподвижная или малоподвижная часть углеводородного сырья, для добычи которых нужны специальные технологии, обеспечивающие его извлечение из недр, транспорт и переработку. Технолого-экономический критерий обосновления нетрадиционных видов УВС – важный, но, как следует из табл. 2, далеко не единственный для определения принципиально новых видов источников УВС.

Таблица 2. Основные виды нетрадиционных источников углеводородного сырья и этапность их вовлечения в процессы освоения [5]

Table 2. The main types of non-traditional sources of hydrocarbons and the phasing of their involvement in development process [5]



Освоение в США газоносных скоплений в низкопроницаемых резервуарах привело к существенному расширению понятийной базы применительно к геологическим особенностям нетрадиционных источников углеводородов. Среди этих источников, как уже отмечено, особую и при этом большую нишу занимают резервуары низкопроницаемых пород – сланцеватых глин (глинистых сланцев), а также плотных кремнеземных терригенных и карбонатных пород. Важно отметить, что при разработке новых понятий в англоязычной литературе были использованы не вполне однозначные термины для определения источников углеводородного сырья – преимущественно глинистых резервуаров (*natural gas/oil of shale reservoirs*) и плотных резервуаров (*gas/oil of tight reservoirs*).

Терминологическая путаница усилилась при неадекватных сопоставлениях и переводах терминов с английского языка на русский. Для обозначения реальных сланцевых пород различных стадий катагенеза в английском языке используют не одно слово, соответствующее понятию «сланцы», а несколько определений. Сопоставляя англоязычную и русскоязычную понятийную базу нетрадиционных источников УВ, А. Е. Лукин [3] подчеркнул, что «*shale*» – это сланцеватые глины на стадиях прото- и мезокатагенеза, «*slate*» – глинистые и аспидные сланцы в диапазоне метаморфизма от стадии МК₄ до АК включительно, «*schist*» – метаморфизованные и метаморфические сланцы (графитовые, шунгитовые). Термин «сланцевый газ/нефть» по существу является **сленгом**, не раскрывающим содержательное, сущностное геологическое определение глинистых («сланцевых»), а также кремнеземных терригенных и карбонатных резервуаров с очень низкой проницаемостью пород, вмещающих углеводородные образования [4].

Нельзя не отметить, что в русскоязычной литературе термин «сланцы» является неоднозначным и используется применительно ко многим объектам. Сланцы – породы с субпараллельной ориентировкой минеральных частиц, которая обусловлена различными причинами. Метаморфические сланцы группируются в соответствии со стадией метаморфизма: метагенезом (глинистые, аспидные, филлитовые сланцы), зеленосланцевым метаморфизмом (хлоритовые, слюдистые сланцы, зелено-сланцевые породы), амфиболовым и более высоким уровнем регионального метаморфизма (кристаллические сланцы). К нетрадиционным источникам «сланцевых» углеводородов эти метаморфические сланцы не имеют отношения. Как показал А. Е. Лукин [6], даже у глинистых и аспидных сланцев ранней стадии метагенеза степень метаморфизма глин слишком велика для сохранения газообразных УВ. Незначительное содержание газов в закрытых порах представлено, в основном, азотом, углекислым газом, сероводородом.

Резервуары «сланцевых» углеводородов связаны с осадочными породами, нередко – с явно или неявно скрытно выраженной макро- и микрослоистостью и сланцеватостью, обогащенными органическим веществом глинистыми и карбонатно-глинистыми породами. Степень катагенеза этих отложений, в общем, соответствует градации ПК-МК₃ и не превышает МК₄-АК₁.

Исходя из неопределенности и неоднозначности термина «сланцевый газ/нефть» (которые, кстати, не всегда характеризуются сланцеватостью вмещающих пород), исследователи предлагают более глубокое и точное понятие о нефтегазоперспективных отложениях с очень низкими фильтрационно-емкостными свойствами. Несомненный интерес в этом отношении представляет определение А. Е. Лукина [6] применительно к плотным сланцевато-глинистым и иным пелитоморфным породам. Учитывая литологический состав, основные химические составляющие осадочного органического вещества (“carbon”, “hydrogen”) и его УВ-генерирующую роль, этот исследователь характеризует рассматриваемые отложения как гидрокарбопелиты, а газ гидрокарбопелитовых резервуаров – гидрокарбопелитовым газом. При этом подчеркивается, что минеральное вещество гидрокарбопелитов может быть представлено не только глинистым, но также карбонатным, кремнеземным, (ди) сульфидным, фосфатным веществом. Ниже предложены иные версии определения рассматриваемого типа нетрадиционных источников УВ.

Как отмечено ранее, в отличие от традиционных средне- и высокопроницаемых коллекторов, матрицы низкопроницаемых пород характеризуются микро- и наноразмерами пор и трещин, проницаемостью в пределах 0,1–0,001 мД и средней пористостью 3–5 %, т. е. являются полуколлекторами [7]. При использовании многостадийного гидравлического разрыва пласта (МГРП) полуколлекторы работают как коллекторы. Таким образом, общим признаком структуры пород «сланцевых» (гидрокарбопелитовых) резервуаров являются микро- и наноразмеры (микро: 10⁻⁶ м;nano: 10⁻⁹ м) трещин и пор. Соответствующие матрицы пород можно называть «микро- и наноколлекторы». В Институте геологии и разработки горючих ископаемых (ИГиРГИ, Москва) уже используют термин «наноколлекторы» и даже называют направление изучения сланцевых УВ «инновационной «нанотехнологией» [8]. Еще раньше понятие о наноколлекторах низкопроницаемых черносланцевых формаций ввел К. Катахара [9].

С целью краткого обобщенного терминологического определения, устранения неоднозначного понимания и более точной научной характеристики нефтегазоносности низкопроницаемых пород целесообразно использовать также термин «углеводороды низкопроницаемых формаций (комплексов, пород)» или «газ/нефть микро- и наноколлекторов». Эти понятия включают и более частные определения – такие как газ и нефть сланцевато-глинистых резервуаров (shale reservoirs), резервуары плотных карбонатных, кремнеземных и вулканогенных пород (tight reservoirs).

Основные структурно-вещественные и генетические характеристики нетрадиционных источников углеводородного сырья. Рассматриваемый аспект изучения источников «сланцевых» углеводородов является центральным применительно ко всей проблеме. По обобщенным данным [1, 2, 10, 6-8, 11–22] малопроницаемые преимущественно сланцевато-глинистые формации (shale-reservoir) и плотные (тугие) преимущественно карбонатные или карбонатно-кремнеземные формации (tight reservoir) характеризуются рядом особых признаков, отличных от традиционных нефтегазоносных отложений. К этим отличиям, как уже отмечено, относится прежде всего микро- и наноразмерность каналов, трещин, пор и каверн матрицы и анизотропные условия их размещения, минеральный и геохимический состав, структурно-текстурные особенности пород. Указанные различия, наряду с иными показателями, предопределяют своеобразие генезиса автохтонных и аллохтонных УВ (“in situ” и “ex situ”), их миграцию – из сопредельных осадочных комплексов или глубинных источников, условия формирования коллекторской емкости на микро- иnanoуровнях, возможность формирования систем дренирования в процессе многостадийного гидроразрыва пласта.

Вещественный состав резервуаров «сланцевых» углеводородов представляют собой многокомпонентные литолого-минералогические и геохимические системы разной степени метаморфизма. Феноменальным свойством этих пород, метаморфизм которых разные исследователи допускают в

пределах от стадии ПК до МК₁-МК₅, является дискретное включение УВ в разнообразных формах в нетрадиционных микро- и наноколлекторах. Они образуют либо обособленные, либо перемежающиеся с традиционными коллекторами резервуары УВ. Границы между низкопроницаемыми микро- и наноколлекторами и традиционными проницаемыми коллекторами, обеспечивающие слабые притоки УВ при использовании традиционных же технологий, достаточно условны.

Из приведенного в табл. 3 варианта ранжирования горных пород по степени проницаемости следует, что нижний интервал низкопроницаемых пород *традиционного* резервуара (от 1,00 до 0,10 мД) и верхний интервал низкопроницаемой матрицы *нетрадиционного* резервуара (от 0,10 до 0,01 мД) разделяются по условной границе. И даже «качественное» наименование этих интервалов в рассматриваемой таблице определяется одинаково – низкопроницаемые породы. Возникает проблема определения понятия коллектор – полуколлектор – неколлектор применительно к нетрадиционным резервуарам.

В этом отношении несомненный интерес представляет оценочная шкала А. Е.Лукина [3], характеризующая способности пород-покрышек и положение в ней коллекторов «сланцевого» газа (табл. 4).

В этой таблице, по существу, отражен двойственный характер низкопроницаемых пород, обладающими свойствами покрышек и коллекторов. Последние, характеризующиеся максимальной величиной диаметра пор и поровых каналов 2 мкм (класс D коллекторов по А. А. Ханину), 8–10 мкм (класс E коллекторов), > 10 мкм (класс F), представляют собой микроколлекторы, определяющие условия генезиса и распределения в пространстве резервуаров «сланцевых» УВ. С. Б. Барков, Е. Б. Грунис и А. Я. Хавкин [8] считают возможным выделить нефтегазоносные наноколлекторы со средним радиусом пор менее 100 нм, т. е. менее 10^{-7} м. Применительно к породам широко известной нефтегазоносной карбонатно-глинисто-аргиллитовой баженовской свиты Западной Сибири, по данным указанных авторов, установлен средний радиус пор высокопроницаемой части коллектора 4 мкм ($4 \cdot 10^{-6}$ м). Эти же исследователи обращают внимание на важность исследования проблемы низкопроницаемых пород в фундаменте платформ, где коллекторы с наноразмерными порами и каналами могут содержать скопления УВ в гранитоидах, вулканогенных образованиях, различных интрузивах.

Таблица 3. Характеристика проницаемости пород-коллекторов вне зависимости от типа пустот [15 с дополнениями]

Table 3. Characteristics of the permeability of reservoir rocks, regardless of the type of voids [15 with addition]

Проницаемость, мД	Качество проницаемой горной породы	Резервуары
От 100,00 до 10,00	Высокопроницаемые	Традиционные, включающие обычные коллекторы и характеризующиеся смешанной флюидонасыщенностью
От 100,00 до 1,00	Среднепроницаемые	
От 1,00 до 0,10	Низкопроницаемые	
От 0,10 до 0,01	Низкопроницаемые – плотные породы	
От 0,010 до 0,001	Сверхнизкопроницаемые – сверхплотные породы	Нетрадиционные, включающие микро- и наноколлекторы и характеризующиеся дискретной флюидонасыщенностью, нередко – гидрофобностью
От 0,0010 до 0,0001	Экстремально низкопроницаемые – экстремально сверхплотные породы	

Таблица 4. Оценочная шкала экранирующей способности пород-покрышек и положение в ней коллекторов «сланцевого» газа [3]

Table 4. The rating scale of the shielding capacity of rock-tires and the position of shale gas collectors in it [3]

Класс (по А. А. Ханину)	Максимальная величина диаметра пор, мкм	Абсолютная проницаемость по газу, м ²	Давление прорыва газа, МПа	Экранирующая способность пород-покрышек	Коллектор (К) «сланцевого» газа
А	$\leq 0,01$	$1,02 \cdot 10^{-21}$	12,0	Весьма высокая	–
Б	0,05	$1,02 \cdot 10^{-20}$	8,0	Средняя	–
С	0,30	$1,02 \cdot 10^{-19}$	5,5	Пониженная	–
Д	2,0	$1,02 \cdot 10^{-18}$	3,0	Низкая	К
Е	8,0-10,0	$1,02 \cdot 10^{-17}$	0,5	Очень низкая	К
Ф	$> 10,0$	$1,02 \cdot 10^{-16}$	$< 0,5$		К

Структура и природа коллекторов, определяющих фильтрационно-емкостные свойства нетрадиционных источников УВ, является главным отличием «сланцевых» газонефтеперспективных резервуаров от традиционных. Согласно данным А. Е. Лукина [23], свободная газовая фаза нетрадиционных источников имеет *дискретный* характер (скопления в изолированных пустотах различного размера – от нано- и микропор до кавернозно-трещинных слоев). Существенно возрастает роль газа, окклюдиированного и сорбированного различными компонентами породы. В коллекторах с микро- и наноразмерностью пустотного пространства и преимущественно глинистой, карбонатной и песчаной матрицей пород газ, как отмечено выше, не контактирует непосредственно с гравитационной водой. Соотношение этих составляющих в нетрадиционном резервуаре может изменяться от дискретного, мозаично раздельного распределения воды и газа в различных частях пустотного пространства до безводных (гидрофобных) газоносных слоев и комплексов. В традиционных резервуарах свободный газ приурочен к коллекторам с открытой и эффективной пористостью, которая определяет размещение преимущественно сплошной газовой фазой.

В традиционных резервуарах УВ вещественные матрицы глинистых, плотных терригенных и карбонатных пород рассматривались как покрышки или полупокрышки (полуколлекторы). В русскоязычной научно-технической литературе по нефтегазовой геологии проблеме полу коллектиров применительно к традиционным резервуарам УВ посвящены специальные исследования. При разработке традиционной модели трехслойного нефтегазового резервуара место полу коллектиора определено между коллектором и покрышкой в качестве промежуточного слоя [35]. В низкопроницаемых полу коллектиорах газ и нефть насыщаются почти лишенные эффективной пористости породы, поэтому газонефтенасыщение имеет дискретный, многофазно-дисперсный характер.

При оценке нетрадиционных низкопроницаемых источников УВ применительно к Припятскому нефтегазоносному и иным осадочно-породным бассейнам Беларусь ранее был использован термин «полуколлектор» вместо некорректного в данном случае понятия «сланцевые породы», «сланцевые резервуары УВ» [7, 11, 24]. Однако следует отметить, что понятие «полуколлектор» является *относительным*. При оценке ресурсов традиционных резервуаров и общепринятой (стандартной) технологии разработки залежей УВ понятие «полуколлектор» в трехслойной модели В. Д. Ильина «работает на 100 %». Низкопроницаемая часть резервуара при стандартной технологии разработки – это как бы неколлектор и его чаще всего не фиксируют как перспективный резервуар при обычных геофизических исследованиях скважин, хотя полу коллектиор, как уже отмечено, может включать УВ в диспергированной, дискретной форме. При использовании инновационной технологии, когда можно извлечь диспергированные УВ из переслаивающихся низкопроницаемых пластов сложных комбинированных резервуаров, эти части разреза «работают» как своеобразные коллекторы. Поэтому при характеристике нетрадиционных резервуаров УВ понятие «полуколлектор» теряет смысл. В процессе использования традиционной технологии разработки залежи УВ весь резервуар низкопроницаемых пород определяется как неколлектор, а при инновационной технологии – как низкокондиционный, низконапорный коллектор – объект добычи УВ.

Для устранения неоднозначного понимания центрального звена в источниках «сланцевых» УВ и их более точного определения, как уже отмечено, целесообразно использовать термин «углеводороды микро- и наноколлекторов». Это обобщенное понятие включает такие частные как газ/нефть сланцевых глин, плотных известняков, песчаников, а также других нетрадиционных источников УВ (например, метан угольных пластов). Микро- и наноколлекторы могут, с одной стороны, определять особые механизмы генерации, аккумуляции и размещения УВ в низкопроницаемых сланцево-глинистых, плотных карбонатных и кремнеземных песчаных формациях за счет рассеянного органического вещества *in situ*, а с другой – воспринимать и аккумулировать подтоки глубинных УВ (прежде всего – углеводородных газов), водорода, гелия *ex situ*. Указанные особенности, естественно, связаны также с литологическим составом пород и их геохимическими характеристиками.

Нетрадиционные резервуары плотных пород (*tight reservoirs*) образованы преимущественно кремнеземными песчаниками и карбонатами. К плотным песчаникам В. П. Якуцени и др. [2] относят породы, коллекторские свойства которых ниже принятых при поисках традиционных скоплений УВ с матричной пористостью $< 10\%$ и проницаемостью $< 0,1 \text{ мкм}^2$ ^{*}. Малая проницаемость указанными исследователями связывается с высоким уплотнением песчаников или заполнением пор, трещин карбонатным и силикатным цементом. В настоящее время в США стали разрабатываться низконапорные газоносные микро- и наноколлекторы плотных песчаников с проницаемостью до 0,01 и даже 0,001 мкм^2 . В разработку вовлечены также нетрадиционные резервуары УВ, представленные плотными карбонатными породами.

*В литературе по геологии нефти и газа и в практической деятельности используют два подхода в обозначении проницаемости пород: традиционный «старый» – дарси и миллидарси (мД) и «новый», соответствующий системе СИ – квадратный микрометр (мкм^2).

Таким образом, освоение низкопроницаемых источников УВ зависит, с одной стороны, от степени изученности литологических особенностей перспективных комплексов, структуры и текстуры их микро- и наноколлекторов, закономерностей размещения в пространстве рассеянного органического вещества и проблем геодинамической активности региона в прошлом и настоящем, а с другой – от эффективности использования инновационных технологий разработки залежей УВ низкопроницаемых резервуаров.

Методология изучения нетрадиционных источников углеводородов в недрах Беларуси. К началу 2019 г. из недр Беларуси добыто 135 млн т нефти. При этом, суммарная выработка извлекаемых запасов нефти из открытых белорусских месторождений достигла 84 %, в том числе из самых крупных – Речицкого, Осташковичского и Вишанского добыто 74–88 %. Очевидным является тот факт, что обеспеченность разведенными извлекаемыми запасами нефти при современной добыче составляет только около 30 лет. Поэтому вполне понятным является стремление белорусских специалистов наращивать эти запасы за счет открытия новых месторождений УВ, а также путем внедрения мероприятий по повышению нефтеотдачи истощенных залежей. Наряду с этими традиционными путями увеличения потенциала добычи УВ в Беларуси, развивается нетрадиционное направление дополнительной добычи УВ – освоение низкопроницаемых нефтегазонасыщенных пород – полуколлекторов (ПК) [11, 25–28]. Главной особенностью ПК является то, что они имеют меньшие емкостно-фильтрационные показатели, чем граничные значения пористости и проницаемости для коллекторов и поэтому из них невозможно получать устойчивые промышленные дебиты УВ без применения специальных высокотехнологичных, весьма интенсивных, передовых способов вскрытия и эксплуатации продуктивных пластов.

Резкое наращивание объемов добычи УВ в 2010–2015 гг. в США за счет «сланцевого» газа и «сланцевой» нефти из низкопроницаемых глинистых (*shale reservoirs*) и плотных, «сжатых» (*tight reservoirs*) природных резервуаров, которые прежде, во всем мире, считались бесперспективными, оправдывает пристальное внимание белорусских геологов к подобным нефтегазонасыщенным породам на территории Беларуси.

К сожалению, традиционные природные резервуары, сложенные нефтегазонасыщенными породами-коллекторами с кондиционными емкостно-фильтрационными свойствами, имеют довольно ограниченное распространение и занимают лишь небольшую долю в суммарном объеме нефтегазо-перспективных осадочных пород Беларуси. Вместе с тем, в недрах белорусских регионов – прежде всего в осадочных бассейнах чехла – присутствуют разнотипные породы-полуколлекторы, суммарный объем которых несравненно больше, чем суммарный объем коллекторов. Опыт добычи в США нефти и газа из нетрадиционных глинистых и «плотных» резервуаров показал, что в настоящее время существуют передовые технологии выявления, разведки и разработки, по крайней мере, хоть какой-то части таких низкопроницаемых пород-полуколлекторов.

На территории Республики Беларусь имеются три осадочных бассейна, контролируемые региональными отрицательными структурами, с которыми, в той или иной мере связывают перспективы обнаружения нетрадиционных скоплений углеводородов: Оршанская и Подлясско-Брестская впадины и Припятский нефтегазоносный прогиб. В Подлясско-Брестской и Оршанской впадинах не выявлены традиционные месторождения УВ. В Припятском прогибе открыто 86 месторождений нефти и газового конденсата в традиционных породах-коллекторах и здесь же получены первые положительные результаты разведки залежей нефти в нетрадиционных нефтегазонасыщенных полуколлекторах [4, 7, 8, 26, 27, 29]. Подобное состояние с освоением нефтегазоносности недр осадочных бассейнов Беларуси, безусловно, указывает на целесообразность дальнейшего изучения нефтегазоносного потенциала Припятского прогиба для решения задач эффективного освоения ресурсов не только традиционных, но и нетрадиционных источников УВ. Тем не менее, при разработке методологии и структурно-вещественной характеристики нетрадиционных источников углеводородов в полуколлекторах авторы базировались на особенностях геологии всех трех указанных регионов.

При определении объектов исследований авторы руководствовались следующими положениями о возможном распространении нефтегазоперспективных полуколлекторов в трех исследуемых регионах:

1 – В **Оршанской впадине** гипотетически могли формироваться нетрадиционные залежи углеводородных газов (в основном метана) в **ПК** – условных нефтегазоматеринских породах: эйфельского яруса девона (глинистые доломиты) и верхнего венда (глинисто – аргиллитовая толща валдайской серии). В наиболее погруженных частях впадины отложения рифейско-нижневендской толщи, возможно, заключают *терригенные ПК*, однако мала вероятность наличия в них ловушек УВ. Таким образом, в качестве первоочередных объектов для изучения в Оршанской впадине могут быть выделены *площади гипотетически нефтегазоносные, с предполагаемыми неструктурными ловушками*,

формирование которых обусловлено субгоризонтальной трещиноватостью нефтегазоматеринских пород – эйфельских и валдайских «сланцевых» ПК.

2 – В белорусской части **Подлясско-Брестской впадины** по общегеологическим предпосылкам и на основании материалов пробуренных скважин прогнозируется наличие гипотетически нефтегазонасыщенных ПК. Терригенные ПК прогнозируются в уплотненных песчаниках и алевролитах *венда* (редкинский горизонт), *кембрия* (пласти в рытской, страдечской, бугской, величковичской, спановской и орланской свитах оцениваются как возможно перспективные, что выделяет их среди других ПК с гипотетической нефтегазоносностью) и *ордовика* (прослои песчаников – «ложная покрышка») [30]. Карбонатные полуколлекторы распространены в известняках и доломитах *ордовика* (трещиноватые и мелкокавернозные карбонаты – «ложная покрышка» и *силура* (локально распространенные органогенные карбонаты). Геологическое строение осадочного комплекса впадины практически исключает обнаружение ловушек структурного типа в ПК, содержащих промышленные объемы углеводородов, но допускает некоторую вероятность формирования нетрадиционных скоплений УВ в неструктурных ловушках ПК. Наиболее вероятно формирование как в терригенных, так и карбонатных полуколлекторах ловушек выклинивания или ловушек субвертикальной тектонической трещиноватости. Обнаружение «сланцевых» (глинистых нефтегазоматеринских) ПК с определенной долей вероятности возможно в аргиллитах *кембрия* (страдечская, величковичская и ставская свиты), а также в глинисто-карбонатных отложениях *силура*. Таким ПК свойственны неструктурные ловушки субгоризонтального типа. Их гипотетическая нефтегазоносность прогнозируется в Подлясско-Брестской впадине – в зоне государственной границы Республики Беларусь). Низкая степень изученности ПК региона предполагает выделение в качестве объектов геологоразведочных работ на нетрадиционные УВ только объекты зонально-поисковой оценки.

3 – В **Припятском прогибе** нетрадиционными объектами исследования являются девонские межсолевые нефтегазонасыщенные глинистые (нефтегазоматеринские, нефтегазопроизводившие), низкопроницаемые нефтегазонасыщенные карбонатные, а также в меньшей степени подсолевые низкопроницаемые карбонатные, терригенные горные породы, а на северо-востоке – верхнедевонские вулканогенные образования [7, 11, 26, 27]. В этом промышленно нефтегазоносном регионе спектр исследуемых типов объектов, в отличие от Оршанской и Брестской впадин, достаточно широк и представлен тремя группами:

- комбинированные объекты нефтегазонасыщенных полуколлекторов и плотных коллекторов в пределах уже открытых залежей структурного или сложного типа, которые ранее считались традиционными, т.е. связанными только со средне и высокопроницаемыми коллекторами. Фактически они приурочены к комбинированным резервуарам (ловушкам, скоплениям УВ), представленным разным соотношением пластов коллекторов и ПК. В Припятском НГБ карбонатные ПК (*tight reservoirs, tight semi-reservoirs*) обычно присутствуют в тех или иных объемах в каждой известной залежи. На одном из таких объектов Речицкого месторождения в 2014–2015 гг. пробурены две успешные горизонтальные скважины, планируется построить еще несколько оценочных скважин;
- комбинированные или нетрадиционные объекты, карбонатных или терригенных полуколлекторов, структурного или сложного типа на поднятиях, еще не описаных или частично описаных бурением. На ряде таких объектов имеются прямые признаки нефтегазоносности или даже получены непромышленные притоки нефти из ПК, которые ранее были квалифицированы как низкопроницаемые породы-неколлектора;
- нетрадиционные объекты ПК, как правило, глинистые, неструктурного, площадного «непрерывного» типа. С такими объектами связываются надежды на открытия значимых по масштабам Припятского прогиба, месторождений УВ.

Таким образом, в качестве объектов геологоразведочных работ на нетрадиционные УВ в Припятском прогибе могут прогнозироваться не только оценочные объекты, как в Оршанском и Подлясско-Брестском осадочных бассейнах, но выявленные, подготовленные, частично описаные традиционные и нетрадиционные объекты в полуколлекторах и возможно комбинированные залежи УВ.

Основные принципы методологии исследования перспективных полуколлекторов Беларуси сводятся к реализации следующих процедур [31]: 1 – анализ и обобщение всех имеющихся сведений о нефтегазоносности низкопроницаемых пород Оршанской, Брестской впадин и Припятского прогиба; 2 – формулирование основных терминов (понятий), отражающих концепцию о полуколлекторах УВ данного бассейна (в максимальном выражении); 3 – создание классификаций ПК и сравнительная классификация этих ПК по следующим критериям:

- литологическая приуроченность (литологические типы) и характер нефтегазоносности;
- стратиграфическая кодификация;
- фильтрационно-ёмкостные характеристики;
- величина пластового давления (барические классы);

- геолого-геохимическая характеристика нефтегазоматеринских пород – возможных нефтегазоносных ПК;
- источники и условия поступления УВ в ПК (аккумуляционные типы ПК и характер питания);
- типы ловушек УВ и зон нефтегазонакопления в ПК;
- степень геолого-геофизической разведанности;
- прогноз нефтегазоносности (вероятность наличия скоплений УВ в ПК, перспективные классы);
- границы распространения ПК различной степени перспективности открытия залежей УВ на территориях рассматриваемых регионов;
- типы объектов геологоразведочных работ на нефть и газ на нефтегазоперспективные ПК;
- возможность извлечения ресурсов УВ из разнотипных пород природных резервуаров (новая классификация ресурсов УВ с учетом степени разведки ПК);
- системное и приоритетное ранжирования поисково-разведочных объектов в ПК.

Рассматриваемым осадочным бассейном Беларуси присущее широкое литологическое и стратиграфическое разнообразие как коллекторов, так и полуколлекторов. Литологически выделяются два основных типа ПК [32]. *Первый литологический тип – полуколлекторы, обогащенные органическими веществами*, характеризуются, как правило, следующими показателями: открытая пористость – менее 10 % для терригенного и менее 4-5 % для карбонатного разрезов, проницаемость – менее 10 мД. В этом типе ПК выделены *три основные класса полуколлекторов: класс 1.1 – глинистые («сланцевые») нефтегазогенерировавшие (shale reservoirs), класс 1.2 – ПК горючих сланцев (kerogen shale reservoirs) и класс 1.3 – угольные ПК (cool reservoirs)*.

Глинистые (сланцевые), обогащенные органическими веществами, нефтегазогенерировавшие ПК (shale reservoirs) представлены глинистыми, глинисто-кремнистыми, глинисто-карбонатными, глинисто-кремнисто-карбонатными породами. Содержание органических веществ 1–10 % (в Брестской и Оршанской впадинах 0,2–1,0 %; в Припятском прогибе – преимущественно, 3–5 %). Для глинистых ПК внутрисолевого, межсолевого и подсолевого комплексов Припятского прогиба характерно наличие в горной породе пористости межгранулярной (поровой) и трещинной, кроме того – емкости органического вещества. Исходим из того, что поровые каналы нефтегазонасыщенных ПК должны быть не менее, чем капиллярные (размеры пор от 0,0002 до 0,5 мм). Часто поры матрицы ПК имеют, в основном, микро- и наноразмеры: 10^{-6} – 10^{-3} мм. Проницаемость матрицы аномально низкая: 10^{-9} – 10^{-3} мД; в лучших случаях – 0,001 миллидарси. Плотность трещин: от 0,4 до > 4 трещин/м. Проницаемость естественных трещин = 2000 мД. Проницаемость трещин гидравлического разрыва пласта (ГРП): 3×10^5 – 1×10^6 мД [7].

Второй литологический тип представлен так называемыми плотными ПК (tight reservoirs). Они делятся на литологические классы: 2.1 – карбонатные (*tight carbonate reservoirs* – доломиты, известняки); 2.2 – терригенные (*tight terrigenous reservoirs* – плотные песчаники, алевролиты) и 2.3 – вулканогенные ПК (эфузивные, интрузивные) породы. Ориентировочные граничные фильтрационно-емкостные свойства карбонатных ПК несколько отличаются в разных стратиграфических комплексах различных регионов. Так, в ордовикских отложениях Подляско-Брестской впадины значения открытой пористости (Кп) и проницаемости (Кпр) составляют для преимущественно трещинных карбонатных полуколлекторов < 2 % и < 10 мД. Во внутрисолевом комплексе Припятского прогиба значения открытой пористости (Кп) и проницаемости (Кпр) составляют для преимущественно поровых карбонатных ПК, соответственно, < 3 % и < 1 мД, а для трещинных < 2 % и < 12 мД. В межсолевом комплексе Кп и Кпр для поровых карбонатных ПК < 3–8 % и < 1 мД, а для трещинных < 3 % и < 12 мД. В подсолевом комплексе Кп и Кпр для поровых карбонатных ПК < 4 % и < 1 мД, а для трещинных < 3 % и < 12 мД.

В Подляско-Брестской впадине терригенные полуколлекторы венда и кембрия имеют Кп < 10 % и Кпр < 6,5 мД, а ордовика – Кп < 10 % и Кпр < 5 мД. Терригенные и вулканогенные ПК в межсолевом и подсолевом комплексах Припятского прогиба характеризуются следующими верхними граничными значениями по Кп и Кпр: для поровых полуколлекторов 10–12 % и < 10 мД, а для трещинных – < 3 % и < 5 мД. Естественно, что емкостно-фильтрационные свойства пород для каждого конкретного объекта ПК могут отличаться от вышеупомянутых средних показателей. При этом за верхние граничные значения ПК принимаются официально принятые в регионе нижние граничные значения коллекторов.

Важное значение для выделения и корреляции коллекторов и полуколлекторов имеет стратиграфическая идентификация и кодификация природных резервуаров. На примере Припятского прогиба разработана технология и применяются соответствующие корреляции и кодификации пластов-коллекторов.

Прогнозирование нефтегазоносности ПК предполагает знание *источников поступления* в них углеводородов, которое, как правило, многовариантно, и связано с теоретическими представлениями исследователей. Так, на основе органической теории генезиса УВ возможно различать три основные

аккумуляционные типы полуколлекторов [33]: 1 – аутигенно-нефтегазоносные (автохтонно-нефтегазоносные), источником нефти и газа для которых служили собственные органические вещества, захороненные в пластах-полуколлекторах в процессе их осадконакопления; 2 – сингенетично-нефтегазоносные ПК, нефтегазонасыщенность которых сформирована за счет миграции УВ из смежных одновозрастных глинистых нефтегазоматеринских отложений, фациально замещивших по простирианию карбонатные, терригенные или вулканогенные породы-полуколлекторы; 3 – аллохтонно-(аллогенно) нефтегазоносные ПК, аккумулировавшие УВ из нефтегазопроизводивших пород другой формации или субформации. Сингенетично-нефтегазоносные и аллохтонно-нефтегазоносные ПК представлены карбонатными, терригенными и вулканогенными разностями (рис. 2). Распространены также политипные (смешанные) ПК – резервуары переслаивания глинистых и карбонатных (или терригенных и/или вулканогенных) ПК. Кроме того, присутствуют комбинированные природные резервуары, представляющие собой переслаивания коллекторов и ПК. Те или иные аккумуляционные типы ПК Припятского НГБ встречаются в разновозрастных пластах венда, девона, карбона. Разные аккумуляционные типы ПК прогнозируются, с той или иной степенью вероятности, в отложениях венда, ордовика и силура в Подлясско-Брестской впадине и в отложениях рифея, венда и девона Оршанской впадины.

Методология выделения перспективных участков для поисков нефтегазоносных ПК предполагает исследование геолого-geoхимических характеристик нефтегазопроизводивших пород и delineation осадочного разреза региона по этим показателям [34]. Обобщенные усредненные значения основных показателей нефтегазообразования для Припятского НГБ характеризуются следующим образом. 1. Органические вещества (кероген) представлены генетическими типами: I – сапропелевый (алиновый), II – сапропелевый (алгиновый и амикагиновый), III – гумусовый (арконовый). 2. Содержание органического углерода – в подсолевых отложениях – 0,31–1,79 %; в межсолевых – 0,13–4,5 %. 3. Степень катагенетического преобразования органических веществ – MK₁–MK₄. 4. Суммарная толщина нефтегазоматеринских пород – в подсолевых отложениях – 41–118 м; в межсолевых – 75–387 м. 5. Суммарная площадь распространения нефтегазогенерировавших пород в

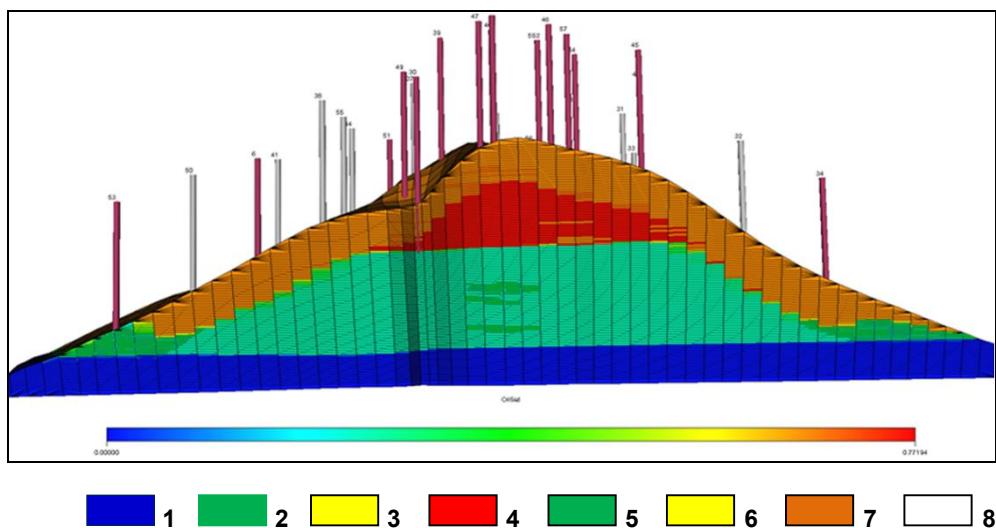


Рис. 2. Текущая выработка запасов нефти из коллекторов и полуколлекторов Южно-Александровского месторождения нефти. Вариант с коэффициентом проницаемости полуколлекторов – 1 мД (гидродинамическая модель – Eclipse) [35].

Условные обозначения: 1 – водонасыщенные породы; 2 – полная (КИН 60%), 3 – частичная, 4 – отсутствует; выработка извлекаемых запасов нефти из пород-коллекторов: 5 – полная, 6 – частичная, 7 – отсутствует; 8 – местоположение эксплуатационной скважины

Fig. 2. The current development of oil reserves from reservoirs and semi-collectors of the Yuzhno-Aleksandrovskoye oil field. The variant with the permeability coefficient of semicollectors is 1 mD (hydrodynamic model – Eclipse) [35].

Legend: 1 – water-saturated rocks; the development of recoverable oil reserves from reservoir rocks: 2 – full (CIN 60%), 3 – partial, 4 – absent; development of recoverable oil reserves from semi-collector rocks: 5 – full, 6 – partial, 7 – absent; 8 – the location of the production well

Припятском НГБ: в подсолевых отложениях – 17 118 км², в межсолевых – 12 954 км². По этим показателям, а также с учетом ряда других условий генерации, эмиграции, миграции и иммиграции УВ подсолевой и межсолевой нефтегазоносные комплексы Припятского НГБ разделены на три ареала нефтегазообразования: Северный, Центральный и Южный [34]. Ареалы состоят из 8 подсолевых и 6 межсолевых очагов нефтегазообразования, которые довольно значительно различаются между собой показателями условий нефтегазообразования.

При прогнозе перспектив нефтегазоносности нетрадиционных ловушек УВ и в процессе создания системы разработки нетрадиционных и комбинированных залежей УВ следует учитывать пластовые давления в ПК. Авторы составили прогнозную классификацию полу коллекторов по относительному пластовому давлению (коэффициенту аномальности пластового давления – K_a), включающую 5 барических классов ПК. K_a рассчитаны на основе реальных замеров давлений в породах-коллекторах, смежных с ПК. Полу коллекторы класса 1, имеющие аномально-высокое пластовое давление (ПД), характеризуются $K_a \geq 1,51$; класса 2 – высокое ПД- $K_a = 1,1\text{--}1,5$; класса 3 – гидростатическое ПД- $K_a = 1,0\text{--}0,91$; класса 4 – низкое ПД- $K_a = 0,9\text{--}0,81$; класса 5 – аномально-низкое ПД- $K_a \leq 0,8$. Надсолевые, верхнесолевые, межсолевые и подсолевые отложения Припятского прогиба характеризуются различными коэффициентами аномальности пластового давления. Для надсолевого комплекса прогнозируются ПК с гидростатическими пластовыми давлениями. Для верхнесолевых ПК, не вовлеченных в разработку, ожидаются ПК с высокими ($K_a = 1,20\text{--}1,30$) и аномально-высокими ($K_a = 1,51$ – до 2,5) пластовыми давлениями. В межсолевых ПК разрабатываемых залежей пластовые давления могут иметь значения от аномально-низких до высоких. На неразрабатываемых участках Припятского НГБ межсолевые ПК имеют, как правило, высокие пластовые давления или аномально-высокие. Подсолевые ПК в пределах разрабатываемых залежей могут иметь значения пластового давления от аномально-низких до гидростатических, а на участках, не затронутых разработкой, обычно – начальные пластовые давления ($K_a = 1,15\text{--}1,20$), в отдельных случаях – аномально-высокие (K_a до 1,7). При определенной степени выработки углеводородов в коллекторах и снижении в них пластового давления представляется весьма вероятным переток флюидов в коллекторы из ПК. Таким образом, можно допустить, что коллекторы в разрабатываемых залежах обводняются, вероятно, раньше полу коллекторов (рис. 2). Процесс сегрегации воды и газонасыщенной нефти в системе коллектор-полу коллектор зафиксирован в многочисленных скважинах, которые после полного обводнения и последующего простаивания начинают продуцировать нефть, поступившую из ПК [35].

Представления о формировании нетрадиционных залежей УВ в глинистых нефтегазопроизводивших ПК базируются на нижеследующих исходных теоретических предпосылках: 1 – расположение нефтепроизводившей толщи пород между надежными флюидоупорами исключало возможность эмиграции генерированных жидкых и газообразных УВ из материнской толщи; 2 – образующиеся в нефтематеринской толще жидкие и газовые углеводороды создавали высокие внутренние давления в ограниченном пространстве замкнутых поровых систем [36]; 3 – происходило формирование микротрещин, обеспечивших проницаемость, достаточную для миграции углеводородов в нефтяной и газовой фазах внутри материнской толщи и для аккумуляции их в нетрадиционные залежи УВ «сланцевого» типа; 4 – эти трещины, вероятно, являются основным видом пустотного пространства глинистых («сланцевых») полу коллекторов (shale reservoirs). Таким образом, необходимыми условиями для формирования залежей глинистого («сланцевого») типа являются: очаги нефтегазообразования; участки присутствия флюидоупоров, перекрывающих и подстилающих нефтегазогенерировавшие толщи; зоны с отсутствием коллекторов и ПК, смежных с нефтегазопроизводившими отложениями; площади развития трещиноватости нефтегенерировавших пачек.

Для формирования нетрадиционных залежей УВ в плотных ПК необходимо сочетание таких условий, как подстилание или перекрытие нефтепродуцирующих пород низкопроницаемыми породами – плотными карбонатными, терригенными и/или вулканогенными ПК, либо переслаивание нефтегазоматеринских пород с коллекторами и плотными ПК. Такая либо подобная комбинация геологических условий обеспечивала первичную вертикальную миграцию УВ из материнских пород в ПК и их насыщение нефтью и/или газами. Механизмы первичной миграции обеспечивают перенос углеводородов через тонкозернистые отложения с проницаемостью от 10^{-3} до 10^{-11} мД [36]. Когда давление внутри пор в материнских породах приближалось к литостатическому, могли возникать микротрещины, по которым УВ мигрировали непосредственно в низкопроницаемые карбонатные, терригенные или вулканогенные полу коллекторы или опосредованно, через промежуточные пластины-коллекторы. Наличие ловушек в ПК приводило к накоплению нетрадиционных залежей УВ «плотного, сжатого» типа. Форма таких залежей определялась распространением ПК, пространственным распределением их емкостно-фильтрационных свойств, гидрофизическими способностями, протяженностью контакта с нефтегазопроизводившими породами и т. д.

К нетрадиционным целесообразно относить разнотипные ловушки (залежи) УВ в породах-полуколлекторых, представленные двумя основными классами: 1 – нетрадиционными структурными ловушками; 2 – нетрадиционными неструктурными ловушками. По аналогии с этим выделяем: комбинированные структурные ловушки (см. рис. 2); комбинированные неструктурные ловушки, в которых в том или ином соотношении прогнозируются или выявлены нефтегазонасыщенные коллекторы и ПК. Нетрадиционные структурные ловушки УВ рассматриваются в широком понимании, т.е. в том смысле, что их формирование генетически обусловлено наличием того или иного типа поднятия. В то же время сама ловушка может быть любого вида – пластовая, выклинивания, массивная и др. Полагаем, что эти виды ловушек присущи в основном плотным ПК. Говоря о нетрадиционных неструктурных ловушках УВ, имеем в виду прежде всего глинистые полуколлекторы, не исключая неструктурные залежи и в плотных ПК. Скопления УВ в глинистых отложениях могут иметь разные формы (плеи); они прогнозируются на значительных площадях (до 100 км²) в подножьях и на террасах тектонических ступеней Припятского прогиба.

Для рациональной организации геологоразведочных работ по поиску и разведке в глинистых отложениях нетрадиционных залежей УВ в разнотипных ПК необходимо иметь представление об оценке перспектив их нефтегазоносности. Применительно к прогнозу нефтегазоносности полуколлекторы целесообразно разделить на 4 перспективных класса: 1 – доказано нефтегазоносные (нефтеносные, газоносные), 2 – вероятно нефтегазоносные, 3 – возможно нефтегазоносные и 4 – гипотетично нефтегазоносные. К доказано нефтегазоносному относится ПК, из которого получен физический приток УВ в скважине. Вероятно нефтегазоносным является ПК, характеризующийся прямыми признаками нефтегазоносности по данным испытания (пленка нефти, положительный состав УВ газа, приток УВ по КВД, по керну и/или газовому каротажу). К вероятно нефтегазоносным также относятся низкопроницаемые горные породы, находящиеся в пределах традиционной залежи УВ выше текущего ВНК, несмотря на то, что эти породы пока еще не идентифицированы в качестве полуколлекторов. Возможно нефтегазоносный ПК – тот, нефтегазоносность которого предполагается по сумме положительных косвенных показателей промысловой геофизики и/или бурения. Как возможно нефтегазоносные также могут быть классифицированы низкопроницаемые горные породы, еще не обозначенные как ПК, находящиеся в пределах традиционной залежи УВ между начальным и текущим ВНК. Гипотетично нефтегазоносным называется ПК, нефтегазоносность которого предполагается по общегеологическим предпосылкам, в отсутствие геолого-геофизических данных по скважинам.

Прогноз эффективности освоения нетрадиционных залежей УВ невозможен без оценки объемов ресурсов нефти и газа в перспективных нетрадиционных и комбинированных объектах. Поскольку углеводороды добывать из ПК гораздо сложнее, чем из традиционных коллекторов, классификация объемов ПК в залежах должна быть иной, чем принятая для коллекторов. Напомним, что объемы УВ в перспективных объектах или залежах классифицируются и подсчитываются по тем или иным категориям ресурсов и/или запасов в зависимости от степени разведенности объекта и состояния его разработки, а также учитывая технические и экономические условия (возможности) добычи УВ из соответствующих объектов.

Для Беларуси официальным руководящим документом для подсчета объемов нефти и газа является классификация запасов УВ, утвержденная Постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь 4 августа 2009 г. № 55. Для экспертной количественной оценки нефтегазоносности перспективных объектов и прогноза их разведки и/или эксплуатации в опытном порядке временно можно использовать классификацию общества инженеров-нефтяников SPE International – PRMS либо классификацию Организации Объединенных Наций – РКООН. Нетрадиционные ресурсы УВ перспективных объектов Республики Беларусь в настоящее время официально не оцениваются и не учитываются.

Принимая во внимание, что в настоящее время в Беларуси происходит оценка и освоение нетрадиционных источников УВ, в повестке дня стоит вопрос о методике их оценки. К тому же РУП «ПО «Белоруснефть» планирует в 2019 г. прирастить запасы из нетрадиционных залежей в объеме 80 тыс. т с последующим наращиванием. В этом направлении осуществляется подготовительная работа. Проведены техническое совещание и конференция с представителями геологической службы Российской Федерации по оценке трудноизвлекаемых запасов нефти в г. Гомеле (февраль 2016 г.) в г. Минске (апрель 2018 г.).

Предложена нижеследующая классификация ресурсов углеводородов по возможности их извлечения из разнотипных природных резервуаров, которая предусматривает нахождение ресурсов УВ как в коллекторах, так и в ПК. Ресурсы УВ (общие) в перспективном объекте объединяют объемы УВ двух типов: 1 – ресурсы УВ традиционные геологические (в коллекторах) и 2 – ресурсы УВ нетрадиционные геологические (в ПК).

Традиционные геологические ресурсы УВ (в коллекторах) разделены на две категории:

- 1.1 – *ресурсы УВ традиционные извлекаемые* (при современном уровне передовых технологий);
- 1.2 – *ресурсы УВ традиционные остаточные* (неизвлекаемые на момент оценки). Нетрадиционные геологические ресурсы УВ (в ПК), по аналогии с ресурсами в коллекторах, включают: 2.1 – *ресурсы УВ нетрадиционные извлекаемые* (при современном уровне передовых интенсивных технологий); 2.2 – *ресурсы УВ нетрадиционные остаточные* (неизвлекаемые на момент оценки).

1.1 – Ресурсы УВ традиционные извлекаемые включают: 1.1.1 – *ресурсы УВ традиционные активные* и 1.1.2 – *ресурсы УВ традиционные трудноизвлекаемые*. 2.1 – Ресурсы УВ нетрадиционные извлекаемые представлены: 2.1.1 – *ресурсами УВ нетрадиционными субактивными* и 2.1.2 – *ресурсами УВ нетрадиционными техноизвлекаемыми*.

К субактивным ресурсам УВ относится объем УВ в ПК, контактирующих с «активными» коллекторами (заключающими активный объем УВ) и способный перемещаться из ПК в коллекторы в процессе разработки последних без дополнительного искусственного воздействия на ПК. Субактивные углеводороды естественным путем вовлекаются в разработку в процессе извлечения УВ из «активных» коллекторов, мигрируя из ПК с повышенным пластовым давлением в коллекторы с пониженным давлением. Подтверждением наличия такого перетока неучтенных запасов УВ являются признаки промытости ПК в выработанных интервалах залежей, прежде являвшихся нефтегазоносными по данным промысловой геофизики. Мероприятия по интенсификации добычи УВ из субактивных ПК должны охватывать, прежде всего, смежные коллекторы.

Техноизвлекаемыми ресурсами УВ является тот объем УВ в ПК, который может быть извлечен с помощью известных специальных технических и технологических воздействий на содержащие их пластины-полуколлекторы.

1.1 – Ресурсы УВ традиционные остаточные разделяются на: 1.2.1 – *ресурсы УВ традиционные возможно извлекаемые* (с помощью новых технологий – уже используемых в тех или иных регионах мира, но не применяемых на рассматриваемых объектах, или пока не разработанных, но теоретически возможных) и 1.2.2 – *ресурсы УВ традиционные неизвлекаемые* (физически и химически прочно связанные с твердой фазой коллекторов). 2.2 – Ресурсы УВ нетрадиционные остаточные состоят из: 2.2.1 – *ресурсов УВ нетрадиционных возможно техноизвлекаемых* (с помощью технологий, уже используемых в тех или иных регионах мира, но не применяемых на рассматриваемых объектах или пока не разработанных, но теоретически возможных) и 2.2.2 – *ресурсов УВ нетрадиционных неизвлекаемых*.

На разрабатываемых комбинированных залежах УВ добываются углеводороды из коллекторов, заключающих ресурсы УВ традиционные активные и трудноизвлекаемые (здесь речь идет, прежде всего, о нефтях и газовых конденсатах). Эти добываемые УВ предлагаем называть *контролируемым объемом УВ*, поскольку данные УВ извлекаются из идентифицированных (лито-стратиграфически определенных) нефтегазонасыщенных пластов, для которых выполнен подсчет запасов УВ. На этих же залежах, при определенных пластовых условиях и благоприятном взаиморасположении коллекторов и ПК, происходит извлечение углеводородов также из определенных нефтегазонасыщенных ПК, заключающих нетрадиционные субактивные ресурсы УВ. О подобном вовлечении в разработку ПК специалисты, как правило, даже не подозревают. Поэтому мы назвали эти дополнительные объемы добываемых УВ – *неконтролируемым объемом добычи УВ*. В настоящее время на месторождениях Припятского НГБ неконтролируемые объемы добычи нефти и растворенного газа извлекаются из *неидентифицированных* (лито-стратиграфически неопределенных) нефтегазонасыщенных пластов, поэтому их величина пока не подсчитана.

Полагаем, что весьма высокие текущие коэффициенты извлечения нефти (0,6–0,7 и более), наблюдаемые для ряда залежей нефти Беларуси и немалого числа месторождений России, обусловлены не только успешным применением методов повышения нефтеотдачи пластов, но и дополнительными объемами нефти, поступившими из ПК с неучтеными запасами УВ.

Список использованных источников

1. Выгон, Г. Нетрадиционная нефть: станет ли бажен вторым бакеном? / Г. Выгон, А. Рубцов, С. Клубков [и др.] // Энергетический центр Московской школы управления Сколково. – М., 2013. – 70 с.
2. Якуцени, В. П. Стратегические виды полезных ископаемых России и их государственные резервы / В. П. Якуцени, Ю. Э. Петрова, Б. И. Беневольский Б. И. [и др.]. – СПб. : ВНИГРИ. – 2007. – 231 с.
3. Лукин, А. Е. Природа сланцевого газа в контексте проблем нефтегазовой литологии / Е. А. Лукин // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2011. – № 3. – С. 70–85.

4. Айзберг, Р. Е. «Сланцевые» углеводороды: газонефтеносность низкопроницаемых осадочных формаций / Р. Е. Айзберг // Літасфера. – 2015. – № 1 (42). – С. 122–142.
5. Прищепа, О. М. Трудноизвлекаемая нефть: потенциал, состояние и возможности освоения / О. М. Прищепа, Э. Халимов // Нефтегазовая вертикаль. – 2011. – № 5. – С. 24–29.
6. Лукин, А. Е. Сланцевый газ и перспективы его добычи в Украине. Статья 1. Современное состояние проблемы сланцевого газа (в свете опыта освоения его ресурсов в США) / А. Е. Лукин // Геологический журнал. – 2010. – № 3. – С. 17–33.
7. Бескопыльный, В. Н. Углеводородный потенциал полуколлекторов осадочно-породных бассейнов Беларуси / В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг // Доклады НАН наук Беларуси. – 2012. – Т. 56, № 2. – С. 98–103.
8. Барков, С. Л. Современные проблемы российской ресурсной базы углеводородов / С. Л. Барков, Е. Б. Грунис, А. Я. Хавкин // Нетрадиционные ресурсы углеводородов: распространение, генезис, прогнозы, перспективы освоения : Тр. Всероссийской конф. с международным участием. – Москва : ГЕОС, 2013. – С. 17–21.
9. Katahara, K. What is shale to a petrophysicist? / K. Katahara. – The Leading Edge, 2008. – Vol. 27. – Pp. 738–741.
10. Царев, В. П. Генетические особенности нетрадиционных источников углеводородов / В. П. Царев, В. А. Ненахов // Сов. геология. – 1988. – № 12. – С. 14–22.
11. Бескопыльный, В. Н. Нефтегазоперспективные полуколлекторы Припятского нефтегазоносного бассейна / В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг // Доклады НАН Беларуси. – 2013. – Т. 57, № 6. – С. 90–95.
12. Лукин, А. Е. Ложные покрышки нефтяных и газовых залежей – потенциальный источник природного газа / А. Е. Лукин // Геологический журнал. – 2011. – № 4. – С. 7–16.
13. Лукин, А. Е. О природе и перспективах газоносности низкопроницаемых пород осадочной оболочки Земли / А. Е. Лукин // Доклады Национальной академии наук Украины. – 2011. – № 3. – С. 114–123.
14. Дмитриевский, А. Н. Сланцевый газ – новый вектор развития мирового рынка углеводородного сырья / А. Н. Дмитриевский, В. И. Высоцкий // Газовая промышленность. – 2010. – № 8.
15. Прищепа, О. М. К обсуждению понятийной базы нетрадиционных источников нефти и газосланцевых толщ / О. М. Прищепа, О. Ю. Аверьянова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2013. – Т. 8, № 3. – С. 1–10.
16. Прищепа, О. М. Понятийная база и первоочередные объекты нетрадиционного углеводородного сырья / О. М. Прищепа, О. Ю. Аверьянова // Нетрадиционные ресурсы углеводородов: распространение, генезис, прогнозы, перспективы освоения : Тр. Всероссийской конф. с междунар. участием. – Москва : ГЕОС, 2013. – С. 222–225.
17. Прищепа, О. М., Жарков А. М. Методика выделения газонасыщенных полей в сланцевой формации / О. М. Прищепа, А. М. Жарков // Нетрадиционные ресурсы углеводородов: распространение, генезис, прогнозы, перспективы освоения: Тр. Всероссийской конференции с международным участием. – Москва : ГЕОС, 2013. – С. 148–151.
18. Бочкарев, В. А. Модель формирования коллекторской емкости в глинистых сланцах на юге США / В. А. Бочкарев // Зоны концентрации углеводородов в нефтегазоносных бассейнах суши и акватории. – СПб. : ВНИГНИ, 2010. – С. 87–92.
19. Бескопыльный, В. Н. Районирование Припятского прогиба по условиям генерации углеводородов / В. Н. Бескопыльный, Е. Ф. Никуленко, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик // Доклады НАН Беларуси. – 2013а. – Т. 57, № 2.
20. Дмитриевский, А. Н. Матричная нефть – карбонатный аналог сланцевой нефти / А. Н. Дмитриевский, И. А. Скибицкая // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. Эл. науч. журнал. – 2014. – Вып. 2 (10). – 8 с.
21. Закиров, С. Н. Инновации в разработке месторождений нефти и газа / С. Н. Закиров, Э. С. Закиров, И. М. Индрупский // Вестник РАН. – 2012. – Т. 82, № 5. – С. 425–431.
22. Жилина, И. В. Условия образования месторождений сланцевого газа / И. В. Жилина, А. В. Ершов // Нетрадиционные ресурсы углеводородов: распространение, генезис, прогнозы, перспективы освоения : Тр. Всероссийской конф. с междунар. участием. – Москва : ГЕОС, 2013. – С. 65–68.
23. Лукин, А. Е. Углеводородный потенциал больших глубин и перспективы его освоения в Украине / А. Е. Лукин // Геофизический журнал. – 2014. – № 4. – Т. 36. – С. 3–21.
24. Бескопыльный, В. Н. Карта районирования межсолевого комплекса Припятского нефтегазоносного бассейна по условиям формирования залежей углеводородов. М 1:200 000 / В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик, Б. А. Дубинин // РУП «Белоруснефть». – Гомель–Минск, 2014.
25. Грибик, Я. Г. Перспективные ресурсы нетрадиционного углеводородного сырья Беларусь / Я. Г. Грибик // Недропользование ХХI век. – 2015. – № 1. – С. 84–93.
26. Бескопыльный, В. Н. О целесообразности изучения нефтегазоносности природных полуколлекторов Беларусь / В. Н. Бескопыльный // Потенциал добычи горючих ископаемых в Беларусь и прогноз его реализации в первой половине ХХI века : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель : ОАО «Полеспечать», 2012. – С. 111–139.
27. Бескопыльный, В. Н. Потенциал добычи углеводородов из полуколлекторов традиционных месторождений Беларусь / В. Н. Бескопыльный, А. В. Халецкий, И. П. Рыбалко // Докл. НАН Беларусь. – 2013. – Т. 57, № 4. – С. 110–113.
28. Грибик, Я. Г. О возможности извлечения рассеянных углеводородных газов из межсолевых девонских отложений Припятского прогиба / Я. Г. Грибик // Потенциал добычи горючих ископаемых Беларусь и прогноз его реализации в первой половине ХХI века : материалы Междунар. науч.-практ. конф. (25–27 мая 2011 г.). – Гомель, ОАО «Полеспечать», 2012. – С. 218–223.

29. Грибик, Я. Г. Перспективы освоения ресурсного потенциала нетрадиционного углеводородного сырья Беларуси / Я. Г. Грибик // Літасфера. – 2014. – № 2 (41). – С. 99–116.
30. Синичка, А. М. Возможные резервуары нефти и газа / А. М. Синичка // Геология и нефтегазоносность запада Восточно-Европейской платформы. – Минск : Беларуская наука, 1997. – С. 623–626.
31. Атлас природных резервуаров и углеводородов нефтяных месторождений Беларуси = Atlas of Belarus oil fields natural reservoirs and hydrocarbons / В. Н. Бескопыльный [и др.] ; под ред. В. Н. Бескопыльного. – Гомель : Сож, 2009. – 216 с.
32. Бескопыльный, В. Н. Краткая характеристика возможных объектов для поисков «сланцевых» углеводородов в Беларуси / В. Н. Бескопыльный, Я. Г. Грибик, Б. А. Дубинин. – Гомель : РУП «ПО «Белоруснефть», 2014. – 58 с.
33. Бескопыльный, В. Н. Методология изучения и общая характеристика «сланцевых» источников углеводородов – полуколлекторов Припятского прогиба / В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг // Недропользование XXI века. – 2016. – № 3(60). – С. 104–113.
34. Бескопыльный, В. Н. Районирование по условиям нефтегазообразования подсолевого и межсолевого комплексов Припятского нефтегазоносного бассейна / В. Н. Бескопыльный, Е. Ф. Никуленко, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик. – Гомель : РУП «ПО «Белоруснефть», 2013. – 184 с.
35. Бескопыльный, В. Н. Природные нефтегазоносные полуколлекторы Припятского прогиба / В. Н. Бескопыльный, А. В. Халецкий, И. П. Рыбалко. – Гомель : РУП «ПО «Белоруснефть», 2013. – 70 с.
36. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY Annual Report to Congress on Strategic Unconventional Fuels Activities and Accomplishments November 2008 Assistant Secretary for Fossil Energy Office of Petroleum Reserves U.S. Department of Energy Washington, DC 20585.

References

1. Vyigon G., Rybtsov A., Klybkov S. [etc.] *Netraditsionnaya neft: stanet li bazhen vtorym bakenom?* [Unconventional oil: will bashen be a second buoy?] *Energeticheskiy tsentr Moskovskoy shkolyi upravleniya Skolkovo* [The energy center of the Moscow School of Management Skolkovo]. Moscow, 2013, 70 p. (in Russian).
2. Yakutsen V. P., Petrova U. E., Benevolsky B. I. [etc.]. *Strategicheskie vidyi poleznyih iskopaemyih Rossii i ih gosudarstvennyie rezervyi* [Strategic mineral resources of Russia and their state reserves]. Saint-Petersburg, 2007, 231 p. (in Russian).
3. Lukin A. E. *Priroda slantsevogo gaza v kontekste problem neftegazovoy litologii* [The nature of shale gas in the context of the problems of oil and gas lithology]. *Geologiya i poleznyie iskopaemyie Mirovogo okeana = Geology and mineral resources of the World Ocean.* 2011, no 3, pp. 70–85 (in Russian).
4. Ayzberg R. E. «Slantsevyie» uglevodorody: gazonetenosnost nizkopronitsaemyih osadochnyih formatsiy [“Shale” hydrocarbons: gas-oil-tightness of low-permeable sedimentary formations]. *Lithosphere*, 2015, no 1 (42), pp. 122–142.
5. Prischepa O. M., Halimov E. *Trudnoizvlekaemaya neft: potentsial, sostoyanie i vozmozhnosti osvoeniya* [Hard-to-extract oil: potential, state and development opportunities]. *Neftegazovaya vertikal = Oil and gas vertical.* 2011, no 5, pp. 24–29 (in Russian).
6. Lukin A. E. *Slantsevyi gaz i perspektivy ego dobyichi v Ukraine. Statya 1. Sovremennoe sostoyanie problemyi slantsevogo gaza (v svete opыта osvoeniya ego resursov v SShA)* [Shale gas and prospects for its production in Ukraine. Article 1. The current status of the problem of shale gas (in the light of the experience of developing its resources in the United States)]. *Geologicheskiy zhurnal = Geological Journal.* 2010, no 3, pp. 17–33 (in Russian).
7. Beskopyilnyi V. N., Ayzberg R. E. *Uglevodorodnyiy potentsial polukollektorov osadochno-porodnyih basseyнов Belarusi* [Hydrocarbon potential of the semi-collectors of sedimentary-rock basins of Belarus]. *Dokladyi NAN Belarusi = Reports of the National Academy of Sciences of Belarus.* 2012, V. 56, no 2, pp. 98–103 (in Russian).
8. Barkov S. L., Grynis E. B., Havkin A. J. *Sovremennyye problemyi rossiyskoy resursnoy bazy uglevodorodov* [Modern problems of the Russian hydrocarbon resource base]. *Netraditsionnyie resursyi uglevodorodov: rasprostranenie, genezis, prognozy, perspektivy osvoeniya* [Non-traditional hydrocarbon resources: distribution, genesis, forecasts, development prospects]. *Trudyi Vserossiyskoy konf. s mezhdunarodnym uchastiem* [Proc. of all-Russian conference with international participation]. Moscow, 2013, pp. 17–21 (in Russian).
9. Katahara K. What is shale to a petrophysicist? The Leading Edge, 2008, Vol. 27, pp. 738–741.
10. Tsarev V.P., Nenahov V. A. *Geneticheskie osobennosti netraditsionnyih istochnikov uglevodorodov* [Genetic features of the non-traditional sources of hydrocarbons]. *Sovremennaya geologiya = Current geology,* 1988, no 12, pp. 14–22 (in Russian).
11. Beskopyilnyi V. N., Ayzberg R. E. *Neftegazoperspektivnyie polukollektoryi Pripyatskogo neftegazonosnogo basseyna* [Oil and gas semi-collectors of the Pripyatsky oil and gas basin]. *Dokladyi NAN Belarusi = Reports of the National Academy of Sciences of Belarus.* 2013, V. 57, no 6, pp. 90–95 (in Russian).
12. Lukin A. E. *Lozhnyie pokryishki neftyanyih i gazovyih zalezhey – potentsialnyi istochnik prirodnogo gaza* [False tires of oil and gas deposits – the potential source of natural gas]. *Geologicheskiy zhurnal = Geological journal,* 2011, no 4, pp. 7–16 (in Russian).
13. Lukin A. E. *O prirode i perspektivah gazonosnosti nizkopronitsaemyih porod osadochnoy obolochki Zemli* [On the nature and prospects of gas content of low-permeable rocks of the sedimentary shell of the Earth]. *Dokladyi Natsionalnoy akademii nauk Ukrayini = Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine,* 2011, no 3, pp. 114–123 (in Russian).

14. Dmitrievskiy A.N., Vygotsky V. I. *Slantsevyj gaz – novyy vektor razvitiya mirovogo ryinka uglevodorochnogo syirya* [Shale gas is a new vector of development of the global hydrocarbon raw materials market]. *Gazovaya promyshlennost = Gas industry*, 2010, no 8 (in Russian).
15. Prischepa O. M., Averjanova O. U. *K obsuzhdeniyu ponyatiynoy bazyi netraditsionnyih istochnikov nefti i gazo-slantsevyih tolsch* [To the discussion of the conceptual base of the non-traditional sources of oil and gas-shale strata]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika = Oil and gas geology. Theory and practice*, 2013, V. 8, no 3, pp. 1–10 (in Russian).
16. Prischepa O. M., Averjanova O. U. *Ponyatiynaya baza i pervochednye ob'ektyi netraditsionnogo uglevodorochnogo syirya* [Conceptual base and priority objects of unconventional hydrocarbon raw materials]. *Netraditsionnye resursyi uglevodorofov: rasprostranenie, genezis, prognozy, perspektivy osvoeniya* [Non-traditional hydrocarbon resources: distribution, genesis, forecasts, development prospects]. *Trudyi Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Proc. of all-Russian conference with international participation]. Moscow, 2013, pp. 222–225 (in Russian).
17. Prischepa O. M., Zharkov A. M. *Metodika vyideleniya gazonasyichennyih poley v slantsevoy formatsii* [Methods for isolating gas fields in shale formations]. *Non-traditional hydrocarbon resources: distribution, genesis, forecasts, development prospects* [Non-traditional hydrocarbon resources: distribution, genesis, forecasts, development prospects]. *Trudyi Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Proc. of all-Russian conference with international participation]. Moscow, 2013, pp. 148–151 (in Russian).
18. Bochkarev V. A. *Model formirovaniya kollektorskoy emkosti v gliniistyih slantsah na yuge SShA* [Model of reservoir formation in shale in the south of the USA]. Zony konsentratsii uglevodorofov v neftegazonosnyih basseynah suishi i akvatorii [Hydrocarbon concentration zones in oil and the gas bearing basins of lands and waters]. Saint-Petersburg, 2010, pp. 87–92 (in Russian).
19. Beskopyilnyi V. N., Nikylenko E. F., Ayzberg R. E., Gribik Y. G. *Rayonirovanie Pripyat'skogo progiba po usloviyam generatsii uglevodorofov* [Zoning of the Pripyat Trough under the terms of hydrocarbon generation]. *Dokladyi NAN Belarusi = Reports of the NAS of Belarus*. 2013a, V. 57, no 2 (in Russian).
20. Dmitrievskiy A.N., Skibitskaya I. A. *Matrixnaya neft – karbonatnyi analog slantsevoy nefti* [Matrix oil - carbonate analogue of shale oil]. *Georesursyi, geoenergetika, geopolitika. Elektronnyiy nauchnyiy zhurnal = Georesources, geoenergetics, geopolitics. electronic scient. journal*. 2014, Vol. 2 (10), 8 p. (in Russian).
21. Zakirov S. N., Zakirov E. S., Indrypsky I. M. *Innovatsii v razrabotke mestorozhdeniy nefti i gaza* [Innovations in the development of oil and gas]. *Vestnik RAN = Bulletin of the RAS*. 2012, V. 82, no 5, pp. 425–431 (in Russian).
22. Zhilina I. V., Ershov A. V. *Usloviya obrazovaniya mestorozhdeniy slantsevogo gaza* [Conditions for the formation of shale gas deposits]. *Netraditsionnye resursyi uglevodorofov: rasprostranenie, genezis, prognozy, perspektivy osvoeniya* [Non-traditional hydrocarbon resources: distribution, genesis, forecasts, development prospects]. *Trudyi Vserossiyskoy konf. s mezhdunarodnym uchastiem* [Proc. of all-Russian conference with international participation]. Moscow, 2013, pp. 65–68 (in Russian).
23. Lukin A. E. *Uglevodorochniy potentsial bol'shih glubin i perspektivnyi ego osvoeniya v Ukraine* [Hydrocarbon potential of large depths and prospects for its development in Ukraine]. *Geofizicheskiy zhurnal = Geophysical journal*. 2014, no 4, V. 36, pp. 3–21 (in Russian).
24. Beskopyilnyi V. N., Ayzberg R. E., Gribik J. G., Dybinin B. A. *Karta rayonirovaniya mezhsolevogo kompleksa Pripyat'skogo neftegazonosnogo basseyna po usloviyam formirovaniya zalezhey uglevodorofov. M 1:200 000* [The zoning map of the intersalt complex of the Pripyat oil and gas basin according to the conditions for the formation of hydrocarbon deposits. Sc 1:200,000]. SPA 'Belorusneft', 2014.
25. Gribik J. G. *Perspektivnye resursyi netraditsionnogo uglevodorochnogo syirya Belarusi* [Perspective resources of non-traditional hydrocarbon raw materials of Belarus]. *Nedropolzovanie XXI veka = Subsoil management XXI century*, 2015, no 1, pp. 84–93 (in Russian).
26. Beskopyilnyi V. N. *O tselesoobraznosti izucheniya neftegazonosnosti prirodnyih polukollektorov Belarusi* [On the expediency of studying the petroleum potential of natural semi-collectors of Belarus]. *Potentsial dobyichi goryuchih iskopaemyih v Belarusi i prognоз ego realizatsii v pervoy polovine XXI veka* [The potential of combustible minerals mining in Belarus and the forecast of its implementation in the first half of the XXI century]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Proc. international scientific-practical conference]. Gomel, 2012, pp. 111–139 (in Russian).
27. Beskopyilnyi V. N., Haletsky A. V., Rybalko I. P. *Potentsial dobyichi uglevodorofov iz polukollektorov traditsionnyih mestorozhdeniy Belarusi* [Potential of hydrocarbon production from semi-collectors of the traditional fields of Belarus]. *Dokladyi NAN Belarusi = Reports of the National academy of Sciences of Belarus*. 2013, V. 57, no 4, pp. 110–113 (in Russian).
28. Gribik J. G. *O vozmozhnosti izvlecheniya rasseyannyih uglevodorochniy gazov iz mezhsolevyih devonских otlozheniy Pripyat'skogo progiba* [About the possibility of extracting the scattered hydrocarbon gases from intersalt Devonian sediments of Pripyat Trough]. *Potentsial dobyichi goryuchih iskopaemyih Belarusi i prognоз ego realizatsii v pervoy polovine HHI veka* [The potential of combustible minerals mining in Belarus and the forecast of its implementation in the first half of the XXI century]. *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (25–27 maya 2011 goda)* [Proc. of the international scientific-practical conference (25–27 May 2011)]. Gomel, 2012, pp. 218–223 (in Russian).
29. Gribik Ya. G. *Perspektivnyi osvoeniya resursnogo potentsiala netraditsionnogo uglevodorochnogo syirya Belarusi* [Prospects for the development of the resource potential of unconventional hydrocarbons in Belarus]. *Litasfera = Lithosphere*, 2014, no 2 (41), pp. 99–116 (in Russian).

30. Sinichka A. M. *Vozmozhnyie rezervuaryi nefti i gaza* [Possible reservoirs of oil and gas]. *Geologiya i neftegazonosnost zapada Vostochno-Evropeyskoy platformyi* [Geology and petroleum potential of the East-West European platform]. Minsk, Belarusian science Publ., 1997, pp. 623–626 (in Russian).
31. Beskopyilnyi V. N. [et al.] *Atlas prirodnyih rezervuarov i uglevodorofov neftyanyih mestorozhdeniy Belarusi* [Atlas of Belarus oil fields natural reservoirs and hydrocarbons]. Gomel, 2009, 216 p. (in Russian).
32. Beskopyilnyi V. N., Gribik J. G., Dybinin B. A. *Kratkaya harakteristika vozmozhnyih ob'ektov dlya poiskov «slantsevyih» uglevodorofov v Belarusi* [Brief description of possible objects for the search for "shale" hydrocarbons in Belarus]. Gomel, SPA 'Belorusneft' Publ., 2014, 58 p. (in Russian).
33. Beskopyilnyi V. N., Ayzberg R. E. *Metodologiya izucheniya i obschaya harakteristika «slantsevyih» istochnikov uglevodorofov – polukollektorov Pripyatskogo progiba* [The methodology of the study and the general characteristics of "shale" sources of hydrocarbons – semi-collectors of the Pripyat Trough]. *Nedropolzovanie XXI veka = Subsoil management of XXI century*. 2016, no 3(60), pp. 104–113 (in Russian).
34. Beskopyilnyi V. N., Nikylenko E. F., Ayzberg R. E., Gribik J. G. *Rayonirovanie po usloviyam neftegazoobrazovaniya podsolevogo i mezhsodevogo kompleksov Pripyatskogo neftegazonosnogo basseyna* [Zoning under the conditions of the oil and gas formation of the subsalt and intersalt complexes of the Pripyat oil and gas bearing basin]. Gomel, JSC 'Polespechat' Publ., 2013, 184 p. (in Russian).
35. Beskopyilnyi V. N., Haletsky A. V., Rybalko I. P. *Prirodnyie neftegazonosnyie polukollektory Pripyatskogo progiba* [Nature oil and gas semi-collectors of the Pripyat Trough]. Gomel, SPA 'Belorusneft' Publ., 2013, 70 p. (in Russian).
36. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY Annual Report to Congress on Strategic Unconventional Fuels Activities and Accomplishments November 2008 Assistant Secretary for Fossil Energy Office of Petroleum Reserves U.S. Department of Energy Washington, DC 20585.

Информация об авторах

Айзберг Ромма Ефимович – член-корреспондент, д-р геол.-мин. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: chistaya@nature.basnet.by

Грибик Ярослав Гаврилович – канд. геол.-мин. наук, зав. лаб. геотектоники и геофизики, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: yaroslavgribik@tut.by

Бескопыльный Валерий Николаевич – д-р геол.-мин. наук, консультант Государственного производственного объединения «Белоруснефть» (ул. Рогачевская, 9, 246003, г. Гомель, Беларусь). E-mail: v.beskopylny@mail.ru

Information about the authors

Romma Aizberg – Corresponding Member, D.Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Chief Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: chistaya@nature.basnet.by

Yaroslav Gribik – Ph.D. (Geology and Mineralogy), Head of Lab. of Geotectonics and Geophysics, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yaroslavgribik@tut.by

Valery N. Beskopylnyi – D.Sc. (Geology and Mineralogy), consultant of the State production Association "Belorusneft" (9, Rogachevskaya Str., 246003, Gomel, Belarus). E-mail: v.beskopylny@mail.ru

РЕСУРСЫ И КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ТОРФЯНОГО СЫРЬЯ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ, ЗАРЕЗЕРВИРОВАННЫХ ДЛЯ ТЕРМОБИОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

И. И. Лиштван, Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, Ю. Ю. Навоша

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Из торфа возможно получение большого количества новых продуктов различного назначения путем создания инновационных производств по его глубокой комплексной переработке. Сырьевой базой таких производств могут служить, прежде всего, 14 торфяных месторождений с запасами особо ценных видов торфа, в отношении которых, согласно Указу Главы государства, установлен режим особой охраны. Данные месторождения, разведанные в геологическом отношении с разной степенью детальности, содержат значительные запасы верхового торфа, которые найдут применение в обозримом будущем при организации инновационных производств по его комплексной, включая биотермохимическую, переработке.

В связи с этим актуальной задачей является оценка ресурсов, особенностей размещения и качественного состава торфяного сырья в пределах наиболее перспективных участков и торфяных месторождений, специально зарезервированных государством для целей биотермохимической переработки. В основном это объекты с особо цennыми видами верхового торфа. Определены расположение и площади перспективных для освоения участков на четырех крупных месторождениях (Габы, Ореховский Мох, В пойме рек Волма и Слоуст, Скачальное Озеро), на которых границы зарезервированных площадей не оговорены в специальном Указе Главы государства и в новой Схеме распределения торфяных месторождений по направлениям использования на период до 2030 года.

Обоснованы возможные направления комплексного использования выявленных запасов торфа и прогнозные объемы производства торфяной продукции из сырья различного типа зарезервированных месторождений с учетом его вещественного состава.

Ключевые слова: торф; месторождения; запасы; качественные характеристики; комплексная переработка; направления использования.

Для цитирования. Лиштван И. И., Курзо Б. В., Гайдукевич О. М., Навоша Ю. Ю. Ресурсы и качественный состав торфяного сырья на месторождениях, зарезервированных для термобиохимической переработки // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 188–204.

RESOURCES AND QUALITATIVE COMPOSITION OF PEAT RAW MATERIAL IN THE RESERVED DEPOSITS FOR THE THERMOBIOCHEMICAL PROCESSING OF PEAT

I. I. Lishtvan, B. V. Kurzo, O. M. Gaidukevich, Yu. Yu. Navosha

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

Abstract. It is possible to obtain a large number of new products for various purposes by creating innovative industries from peat for its deep integrated processing. The raw material base of such production can be, first of all, 14 peat deposits with the reserves of the especially valuable types of peat, in relation to, according to the Decree of the Head of the State, special protection is established. These deposits, explored geologically with the varying degrees of detail, contain the significant amounts of high-moor peat with the variety of qualitative characteristics, which can be used in the foreseeable future when organizing innovative productions for its integrated, including bio-chemical, processing.

In this regard, an urgent task this work is devoted is the assessment of the resources of peat concentrated here, the characteristics of its location and the qualitative composition within the most promising areas and peat deposits, specially reserved by the state for the purposes of bio-chemical processing.

The results of resource assessment and the qualitative composition of peat raw material in selected areas and peat deposits with especially valuable peat species, which are 95 % represented by upland species, are presented. The results of the work allowed to determine the location and the areas of promising areas for development at four large fields (Gaba, Orekhovsky Mokh, In the floodplain of the Volma and Sloust rivers, Skachalskoe Lake), where the boundaries of the reserved areas are not specified in the special Decree of the Head of State and deposits in the areas of use for the period up to 2030.

The possible directions of the integrated use of the identified peat reserves and the forecast production volumes of peat products from the raw materials of the various types of the reserved deposits are substantiated, taking into account its material composition.

Keywords: peat; deposits; storages; quality characteristics; complex processing; directions of use.

For citation. Lishtvan I. I., Kurzo B. V., Gaidukevich O. M., Navosha Yu. Yu. Resources and qualitative composition of peats in the reserved for the thermobiochemical processing of peat deposits. *Nature Management*, 2019, no 1, pp. 188–204.

На территории Республики Беларусь сосредоточено около 4 млрд т торфа, а его извлекаемые запасы прогнозно оцениваются в 600–800 млн т [1]. Начиная с послевоенного периода организациями торфяной промышленности республики большое внимание уделяется производству торфяного топлива и органических удобрений на основе торфа. В связи с изменением социально-экономических условий в последнее время использование торфа по традиционным направлениям существенно снизилось. Выявленные в результате научных исследований уникальные свойства органического вещества торфа, способность его к модификации позволяют получать большое количество новых продуктов различного назначения путем создания инновационных производств по глубокой комплексной переработке торфяного сырья.

Сыревой базой таких производств могут служить, прежде всего, 14 торфяных месторождений с запасами ценных видов торфа, в отношении которых в соответствии с новой Схемой [2] и Указом Президента Республики Беларусь [3] установлен режим особой охраны. На таких объектах запрещено проводить мелиоративные мероприятия и работы по добыче торфяного сырья, если использование его не связано с биотермохимической переработкой. При выделении указанных месторождений в особую группу режим специальной охраны устанавливался на определенной площади. Размещение отдельных перспективных участков крупных месторождений, ресурсы и качественный состав торфа, возможные направления его использования в пределах зарезервированных площадей не исследованы, хотя некоторые сведения общего характера можно найти в ранее опубликованных работах [4, 5]. Следует отметить, что первоначально основными направлениями использования торфа зарезервированных месторождений являлись создание производств по гидролизной переработке торфа низкой степени разложения, выпуск торфяной подстилки для содержания сельскохозяйственных животных и выпуск торфяного воска. В связи с тем, что данные направления использования в последнее время утратили свою актуальность, необходимы новые подходы к оценке пригодности запасов торфа для комплексного использования с учетом реалий современного времени.

Цель и задачи. Цель исследования – оценить ресурсы, особенности их размещения и качественный состав торфа на специально зарезервированных 14 торфяных месторождениях для осуществления биотермохимической переработки сосредоточенного здесь торфяного сырья. Для ее достижения решены задачи анализа имеющегося разрозненного по степени детальности геологоразведочного материала, разработки методических приемов его обработки для подсчета запасов торфяного сырья разного качества на перспективных площадях и получения оценок возможных направлений комплексного использования выявленных запасов торфа.

Объекты и методы. Объектами исследования служили 14 специально зарезервированных торфяных месторождений республики со специфическими качественными показателями для глубокой комплексной переработки, включая биотермохимическую (гидролизное производство, выпуск биологически активных ростовых препаратов, консервантов кормов, красителей древесины, торфяного воска и кокса, активных торфяных углей).

На первом этапе исследований выполнена ревизия имеющихся материалов по объектам в государственном геологическом фонде Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

При различной степени изученности месторождений торфа подсчет перспективных для использования торфяных ресурсов выполнялся по материалам более высокой стадии (детальная, либо специальная разведка). Когда в качестве сырьевой базы зарезервирована часть крупного месторождения, расположение интересующего нас участка определяли по геологоразведочным планам и графическим материалам Схемы [2].

На четырех крупных торфяных месторождениях Минской области Габы, Скачальское Озеро, Ореховский Мок и В пойме рек Волма и Слоуст зарезервирована не вся площадь, а отдельные участки с преимущественно верховыми торфами. В этом случае пересчет запасов торфа для таких участков производили пропорционально их площади по сравнению с общей разведенной площадью в промышленной глубине торфа на месторождении. Для расчета качественных показателей торфа на отдельных участках использовали пункты отбора образцов, расположенные в пределах зарезервированных участков.

При определении пригодности запасов торфяного сырья каждого исследованного месторождения для получения разнообразной продукции комплексной переработки торфа, прогнозного расчета его объемов для различных направлений переработки использовали разработанные ранее критерии [5, табл. 2].

При оценке восконосности торфяной залежи выделяли слои, в которых содержание бензиновых битумов составляет более 4,0 % на органическое вещество (ОВ). В том случае, когда прямого определения битумов не проводили, битуминозность (Б) торфов определяли по уравнениям регрессии, учитывающим общетехнические параметры [6]:

$$Б = 0,21R - 0,68A^c + 3,6, \quad (1)$$

где R – степень разложения торфа, %; A^c – зольность на сухое вещество, %.

Для некоторых торфяных месторождений прогнозный выход воска (В) рассчитывали на основании степени разложения (R), процентного содержания сосны в торфе (С), пушкицы (П) и мхов (М), определяемых под микроскопом, по формуле [4]:

$$B = 0,158 + 0,118R + 0,022(C + \Pi) + 0,015M. \quad (2)$$

В связи с тем, что по некоторым месторождениям использовали материалы послевоенных лет разведки, когда согласно действовавшим тогда инструктивным материалам расчет запасов производили в объемных единицах, представленный ниже анализ структуры и ресурсов торфа выполнен преимущественно в млн м³.

Результаты и их обсуждение. Выделенные торфяные месторождения с особо ценностными видами торфа приурочены к северной (два месторождения) и центральной части республики, расположены в трех административных областях – Витебской, Минской, Могилевской. Выделяются районы повышенной концентрации интересующих нас месторождений на востоке Минской области и на западе Могилевской (рис. 1). Два месторождения территориально относятся к разным областям: месторождение Славное расположено на стыке трех областей, месторождение Есмоновский Мох – на границе двух областей (табл. 1). Два месторождения (Сосновка и Ольховое Усолонье) разведаны маршрутно в довоенное время, отчетные материалы по ним не сохранились, поэтому характеристика запасов представлена только по кадастровой записи [7]. Запасы торфа четырех месторождений Могилевской области (Тажиловский Мох, Залитвинский Мох, Расмацкое, Большой Мох) изучены рекогносцировочно и полученные данные имеют сугубо прогнозный характер. На остальных торфяных месторождениях, кроме маршрутных и рекогносцировочных изысканий, выполнен комплекс детальных геологоразведочных работ, отличающихся высокой степенью достоверности оценок изученных запасов торфа.

Все зарезервированные торфяные месторождения или их участки с фондом особо ценных видов торфяного сырья относятся к верховому типу, когда вся залежь или более половины ее верхней части сложены торфами верховых видов.

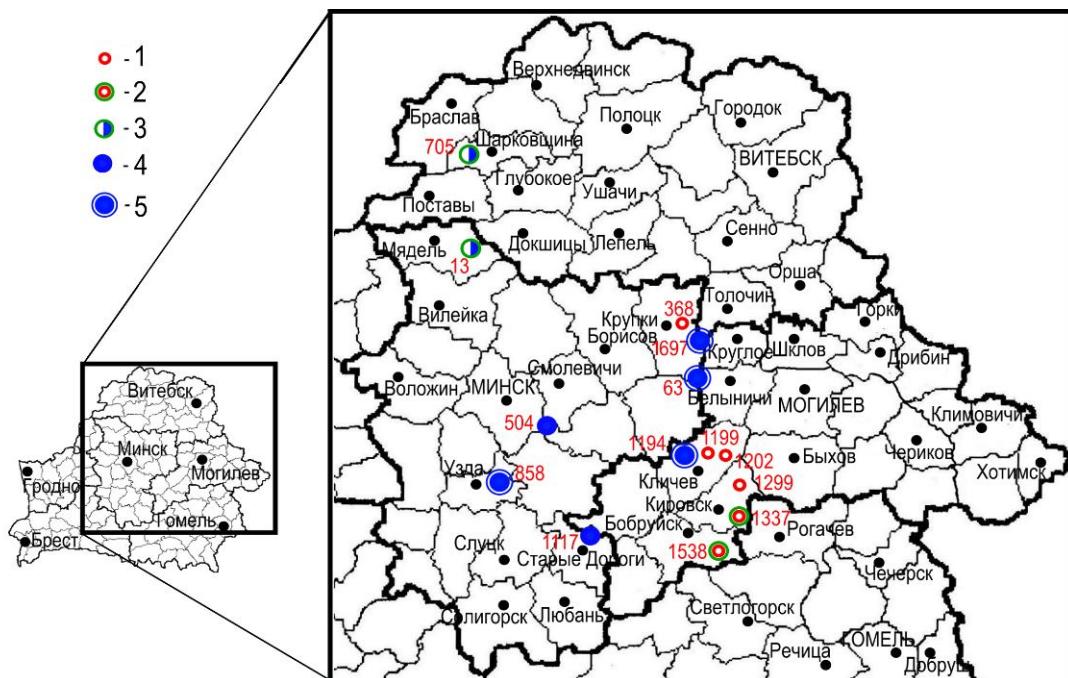


Рис. 1. Картосхема размещения торфяных месторождений, зарезервированных для комплексной переработки торфа. Виды геологической разведки: 1 – маршрутная; 2 – рекогносцировочная; 3 – рекогносцировочная и детальная на отдельном участке; 4 – детальная; 5 – детальная и специальная

Fig. 1. Map of peat deposits location reserved for the complex processing of peat.
Types of geological exploring: 1 – routing; 2 – reconnaissance; 3 – reconnaissance and detailed
on a separate area; 4 – detailed; 5 – detailed and specialized

Таблица 1. Сведения о геологоразведочных работах на зарезервированных для комплексной биотермохимической переработки торфяных месторождениях

Table 1. Information on geological exploration at the peat deposits reserved for the complex bio-thermochemical processing of peat deposits

Номер по кадастру	Торфяное месторождение	Расположение		Разведанная площадь, га		Средние параметры для месторождения, %		Год разведки	Категория разведки*
		район	область	общая	в промышленной границе	степень разложения	зольность		
705	Долбенишки	Шарковщинский	Витебская	4763 212	4437 210,5	25,0	2,10	1968 1981	Р Д
697	Славное	Толочинский Крупский Круглянский	Витебская Минская Могилевская	4144 3018 4830	3176 1962 2991	24,0	2,00	1947 1960 1978	Д Сп Дор.
504	В пойме рек Волма и Слоуст (участок «Горелое Пухово»)	Минский	Минская	720 549	504 398	27,0	3,05	1954 1984	Д Сп
13	Габы, в том числе восточная часть	Мядельский	Минская	13 932 4645	9167 3986	25,0	3,85	1950 1972	Р Д
858	Ореховский Мох (участок «Валерьяны»)	Пуховичский Узденский	Минская	— —	5212 2102	34,0	3,10	1947 1957	Д Сп
1117	Скачальное Озеро	Стародорожский	Минская	1562 595	1069 413	28,0	3,80	1947 1957	Д Сп
368	Ольховое Усолонье	Крупский	Минская	176	98	29,0	4,00	1936	M**
63	Есмоловский Мох	Белыничский Крупский Березинский	Могилевская Минская Минская	3793 3793	2867 2644	19,0	2,80	1968 1978	Д Дор.
1538	Тажиловский Мох	Бобруйский	Могилевская	240	161	37,0	2,80	1960	Р
1337	Залитвинский Мох	Кировский	Могилевская	583	442	34,0	3,50	1960	Р
1299	Расмацкое	Кировский	Могилевская	210	164	29,0	4,70	1935	Р
1194	Ваньковщина	Кличевский	Могилевская	1024 855	733 448	39,0	4,00	1937 1979	Р Д
1202	Большой Мох	Кличевский	Могилевская	246 129	129 96,5	28,0	4,30	1937 1956	М Р
1198	Сосновка	Кличевский	Могилевская	237	161	26,0	8,60	1937	M**

* Категория разведки: М – маршрутная; Р – рекогносцировочная; Д – детальная; Сп – специальная; Дор. – доразведка.

** Материалы разведки отсутствуют.

Согласно рассчитанным параметрам средняя степень разложения торфа на зарезервированных месторождениях изменяется в довольно больших пределах – от 19,0 % (Есмоновский Мox) до 39,0 % (Ваньковщина). Повышенную степень разложения торфа имеют залежи на месторождениях Ореховский Мox (участок «Валерьяны»), Тажиловский Мox, Залитвинский Мox, Ваньковщина. Они размещены в сточных котловинах на высоких гипсометрических уровнях рельефа и поэтому имеют повышенную мощность торфа высокой степени разложения преимущественно в средней части разрезов, который по окрайкам часто выходит на поверхность залежи.

Установлено, что детальными изысканиями охвачено 14 770 га площади в промышленной глубине залежи месторождений с особо ценными видами торфа, что составляет более 75,0 % общей площади всех изученных объектов. Следует добавить, что на крупных месторождениях Славное, В пойме реки Волма и Слоуст (участок «Горелое Пухово»), Ореховский Мox (участок «Валерьяны»), Скачальское Озеро, Есмоновский Мox в разное время проведена специальная разведка или доразведка с целью дополнительного определения ресурсов и состава битуминозного торфа, а также торфа для производства торфяной подстилки и гидролизного производства.

В связи с тем, что на исследованных месторождениях основной объем запасов представлен верховым торфом, средняя зольность его невелика и составляет менее 5,0 %. Показатель зольности имеет наименьшее значение на торфяных месторождениях Долбенишки, Славное, Есмоновский Мox и Тажиловский Мox (менее 3,0 % на сухое вещество (с. в.). На остальных месторождениях средняя зольность несколько повышена, что следует учитывать при выборе направлений использования для производства активных углей, торфяного кокса, нефтепоглощающих сорбентов.

Анализ имеющихся геологоразведочных материалов показывает, что в пределах перспективных месторождений или зарезервированных участков сосредоточено 408,2 млн м³ торфа, который на 95,0 % сложен верховыми видами (табл. 2). Учитывая среднюю влажность торфа 92,0 % и степень разложения 28,0 %, запас перспективного торфа для комплексной безотходной переработки на всех зарезервированных месторождениях и отдельных участках составляет 54,7 млн т при 40,0 %-ной условной влажности. В табл. 2 представлены объемы запасов верхового торфа на зарезервированных месторождениях (участках) по градациям степени разложения: от мало разложившегося торфяного сырья ($R < 20,0 \%$) до средне- ($R = 20,0\text{--}35,0 \%$) и высокоразложившегося ($R > 35,0 \%$). Наибольшее распространение на исследованных месторождениях имеет торф средней степени разложения, который суммарно занимает 47,0 % общего объема, или 190,3 млн м³. Преобладает торф средней степени разложения на торфяном месторождении Долбенишки (81,0 % общих запасов), на специально разведенном участке в восточной части месторождения Габы (46,0 %) и на месторождении Большой Мox Кличевского района.

Сильно разложившийся торф, который при разведке учитывался как битуминозное сырье, относительно превалирует на месторождениях Залитвинский Мox, Ваньковщина и Тажиловский Мox в Могилевской области – 47,0 58,0 и 67,0 % общего объема запасов соответственно. Если сравнивать абсолютные цифры запасов торфа высокой степени разложения, то следует отметить месторождение Славное – 19,5 млн м³ (22,0 % общего объема на месторождении) и Долбенишки – 9,8 млн м³ (6,0 %).

Торф малой степени разложения относительно преобладает на месторождениях Есмоновский Мox – 51,1 млн м³ (63,0 % общего объема), Славное – 42,4 млн м³ (48,0 %), Скачальское Озеро – 3,0 млн м³ (46,0 %), на участке «Горелое Пухово» месторождения В пойме рек Волма и Слоуст – 4,35 млн м³ (40,0 %) и участке «Валерьяны» месторождения Ореховский Мox 3,06 млн м³ (32,0 % общего объема запасов).

Следует отметить, что низинные и переходные виды торфа в целом слабо представлены на изученных участках и месторождениях: суммарно они составляют 21,1 млн м³, или 5,0 % общего объема торфа.

Анализ геологоразведочных материалов по 14 зарезервированным месторождениям показал, что на перспективных участках ранее выполнен комплекс работ по оценке восконосности торфяной залежи с выделением специального слоя, в котором содержание бензиновых битумов составляло более 4,0 % на органическое вещество. По такому принципу выделены восконосные (битуминозные) слои на торфяных месторождениях Славное, В пойме рек Волма и Слоуст (участок «Горелое Пухово»), Ореховский Мox (участок «Валерьяны»), Скачальское Озеро, Есмоновский Мox и Ваньковщина (табл. 3). По данным уравнений регрессии (1) и (2) выделен битуминозный слой торфа на месторождениях Габы, Тажиловский Мox, Залитвинский Мox.

Кроме повышенного содержания битумов, которое в среднем составляет более 5,0 %, восконосный слой характеризуется высокой степенью разложения и низкой зольностью слагающего его торфа. Сочетание высокой степени разложения и низкой зольности торфа восконосного слоя характерно для месторождений Славное, Есмоновский Мox и Тажиловский Мox, участка «Горелое Пухово» месторождения В пойме рек Волма и Слоуст. Восконосный торф данных месторождений может рассматриваться также как сырье для производства активных углей, торфяного кокса, нефтепоглощающих сорбентов.

Таблица 2. Объем запасов верхового торфа разной степени разложения на зарезервированных участках перспективных месторождений

Table 2. The volume of high peat reserves of the varying degrees of decomposition in the reserved areas of promising deposits

Номер по кадастру	Торфяное месторождение	Площадь, га	Средняя глубина торфа, м	Объем запасов торфа			Объем остальных типов торфа, тыс. м ³	Средняя влажность запасов, %	Запас торфа на участке при 40,0 %-ной влажности, тыс. т			
				всего, тыс. м ³	в том числе объем верхового торфа на зарезервированных участках, тыс. м ³							
					R < 20,0 %	R = 20,0–35,0 %						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
705	Долбенишки	4437 4437	3,64 3,64	161 500 161 500	21 687 13	129 983 81	9830 6	—	91,1	24 000		
697	Славное	2991 2991	2,94 2,94	87 852 87 852	42 374 48	22 481 26	19 495 22	3502 4	93,3	10 029		
504	В пойме рек Волма и Слоуст (участок «Горелое Пухово»)	549 278	3,88 3,92	15 809,3 10 906,8	4355,4 40	3562 33	2133,4 20	856 7	89,2	2029		
13	Габы (восточная часть)	3986 600	3,46 3,45	137 921,1 20 674,2	5476,6 26	7331,1 46	2271,8 11	5594,7 27	91,9	2917		
858	Ореховский Мх (участок «Валерьяны»)	5212 422	3,37 2,27	175 771 9587	3057,1 32	1796,5 19	2850,9 30	1882,5 19	90,3	1644		
1117	Скачальское Озеро	1069 368	1,88 1,78	20 102,8 6543,4	3034,8 46	1260,1 19	890,1 14	1358,4 21	90,9	1058		
368	Ольховое Усолонье	176 98	2,27 2,27	2225 2225	—	—	—	—	93,0	223		
63	Есмоловский Мх	3793 2644	2,33 3,06	88 596 80 933	51 110 63	18 786 23	5093 6	5944 7	93,3	8648		
1538	Тажиловский Мх	240 161	2,8 3,22	6720 5191	218 4	612 12	3499 67	862 17	90,5	822		
1337	Залитвинский Мх	583 442	1,43 1,85	8340 8183	1861 23	1946 24	3837 47	539 6	91,3	1222		
1299	Расмацкое	206 162	— 1,76	2851 2851	—	—	—	—	92,4	431		
1194	Ваньковщина	733 448	1,61 1,75	11 800 7698	1362 18	1306 17	4484 58	546 7	90,5	1170		
1202	Большой Мх	129 96,5	1,35 1,82	1747 1755	263 15	1264 72	228 13	—	92,5	175		
1198	Сосновка	237 161	— 1,42	2286 2286	—	—	—	—	90,8	341		
Всего:		24 341 13 308,5	—	723 521,2 408 185,4	134 798,9 34	190 327,7 47	54 612 14	21 084,6 5	—	54 709		

Примечание. В графах 3–5 числитель – характеристика общей площади разведки на месторождении, знаменатель – зарезервированная площадь для целей биотермохимической переработки торфа.

Установлено, что ряд месторождений имеет несколько увеличенную среднюю зольность битуминозного слоя (3,0–5,0 %) при высокой и очень высокой степени разложения: Ореховский Мox, Скачальское Озеро, Залитвинский Мox, Ваньковщина. Битуминозный торф данных месторождений целесообразно использовать для производства кормовых добавок, торфощелочных реагентов, красителей для древесины, текстиля, комплексных жидких гуминовых удобрений с микроэлементами, консервантов кормов.

Наибольший объем восконосного слоя высокой степени разложения и низкой зольности разведен на торфяных месторождениях Славное и Есмоновский Мox – 23,06 млн и 26,17 млн м³ соответственно. Объемы битуминозного торфа на месторождениях верхового торфа в пойме рек Волма и Слоуст на участке «Горелое Пухово», Тажиловский Мox, Залитвинский Мox и Ваньковщина составляют больше половины разведанных общих запасов на каждом из них. Самыми перспективными в этом отношении являются месторождения Тажиловский Мox и Ваньковщина, в которых битуминозный сильно разложившийся торф составляет 79,0 и 75,0 % общих запасов соответственно.

Выше восконосного слоя на всех детально разведенных месторождениях выделен надвосконосный слой, в составе которого преобладают преимущественно моховые виды торфа со степенью разложения до 25,0 %. Средняя зольность этих торfov сопоставима с зольностью расположенных ниже торfov высокой степени разложения (табл. 3). Основные направления комплексного использования этой категории торфяного сырья верхового типа – подстилочные, изоляционные и упаковочные материалы, производство торфяных горшочков, нефтепоглощающие сорбенты, компоненты питательных грунтов, кипованный торф. Наибольшие объемы надвосконосного торфа разведены на торфяных месторождениях Есмоновский Мox – 51,1 млн м³ и Славное 35,9 млн м³.

Значительные объемы торфа малой степени разложения на месторождении Есмоновский Мox объясняются природными условиями формирования залежи торфа. Как показывает анализ рельефа и абсолютных отметок дна (рис. 2), данное месторождение отличается от расположенного в нескольких километрах севернее месторождения Славное повсеместно высоким уровнем стояния грунтовых вод, связанным с низкими относительными высотами рельефа (минеральное дно – 176–178 м, современная поверхность – 183–185 м). Минеральное дно расположенного рядом месторождения Славное в генетических центрах имеет отметки от 187 до 189 м, а современная поверхность расположена в среднем на отметке 195 м. По причине постоянно высокой обводненности объем мало разложившегося верхового торфа на месторождении Есмоновский Мox составляет около 63,0 % общего объема, в то время как на месторождении Славное – лишь 40,0 % (см. табл. 3, рис. 3).

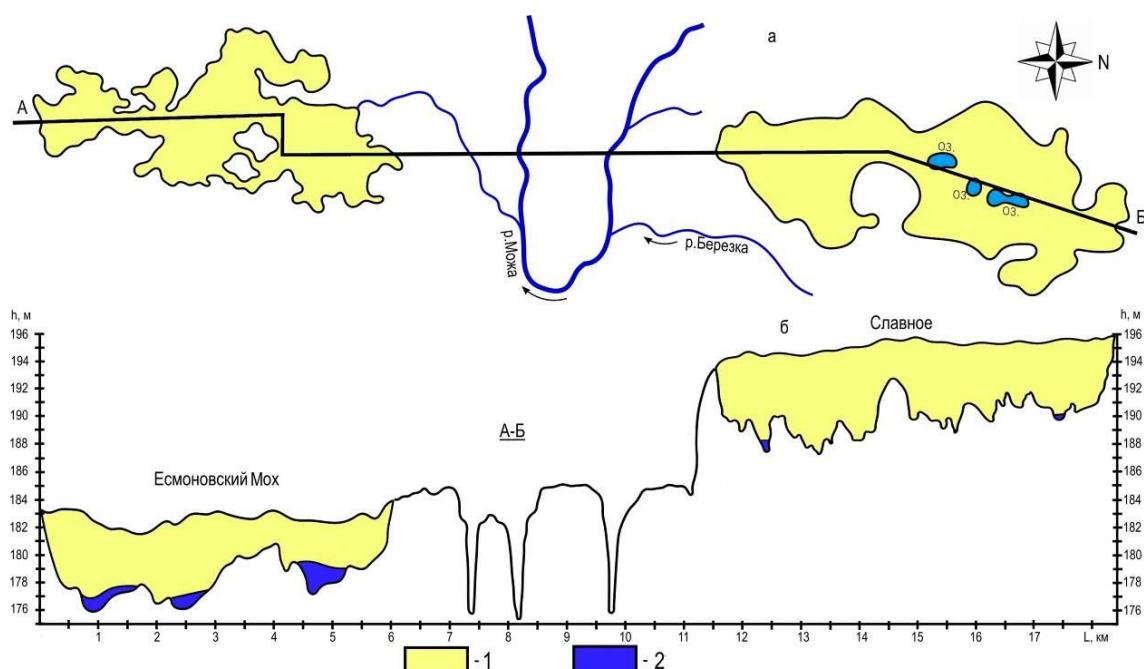


Рис. 2. Расположение (а) торфяных месторождений Есмоновский Мox и Славное с профилем рельефа (б) по линии А–Б: 1 – торф; 2 – сапропель

Fig. 2. The location (a) of Esmonovsky Moх and Slavnoe peat deposits and the relief profile (b) along A–B line: 1 – peat; 2 – sapropel

Таблица 3. Общетехнические характеристики торфа и содержание в нем бензиновых битумов на зарезервированных участках**Table 3. General technical characteristics of peat and the content of gasoline bitumens in it in reserved areas**

Номер по када- стру	Торфяное месторождение	Перспек- тивная площадь, га	Средняя глубина торфа, м	Объем запасов, тыс. м ³	Восконосный слой				Надвосконосный слой			
					объем, тыс. м ³	R, %	A ^c , % с. в.	битум (бензин), % ОВ	объем, тыс. м ³	R, %	A ^c , % с. в.	битум (бензин), % ОВ
697	Славное	2991	2,94	87 852	23 055	21–55 34,5	0,8–8,9 1,96	3,7–7,2 5,1	35 900	4–20 15,3	0,6–2,8 1,95	0,7–6,7 2,3
504	В пойме рек Волма и Слоуст (учас- ток «Горелое Пухово»)	278	3,92	10 906,8	5695,4	22–45 37	0,9–37,6 2,4	3,0–8,6 5,3	4355,4	5–20 14	0,6–10,2 2,6	1,3–5,9 3,1
13	Габы (восточная часть)	600	3,45	20 674,2	9602,9	23–40 30	0,9–27,1 2,7	–	5476,6	5–22 11	0,7–17,1 2,35	–
858	Ореховский Mox (участок «Ва- лерьяны»)	422	2,27	9587	4647,4	25–55 39	1,9–19,2 4,3	4,7–7,7 6,1	3057,1	6–21 13,5	1,5–9,8 3,7	3,3–4,6 3,8
1117	Скачальское Озеро	368	1,78	6543,4	2150,2	22–55 40,5	2,6–17,3 3,4	6,6–11,1 8,6	3034,8	5–28 24	1,9–12,2 4,1	5,7–6,5 5,9
63	Есмоловский Mox	2644	3,06	80 933	26 170	21–63 31,5	0,6–26,3 2,4	3,6–8,4 4,8	51 110	3–20 12,1	1,0–24,5 5,1	1,4–4,0 2,95
1538	Тажиловский Mox	161	3,22	5191	4111	22–60 39,7	1,4–5,2 2,6	–	218	11–20 18	3,5–3,8 3,7	–
1337	Залитвинский Mox	442	1,85	8183	5783	20–60 40,5	1,9–9,4 3,4	–	1861	8–20 17	2,1–5,4 3,6	–
1194	Ваньковщина	448	1,75	7698	5790	20–70 43,8	2,0–42,1 3,9	2,8–7,1 5,3	1362	7–22 15	2,0–11,2 3,6	2,5–3,9 3,7

П р и м е ч а н и е . Числитель – пределы содержания, знаменатель – средние значения.

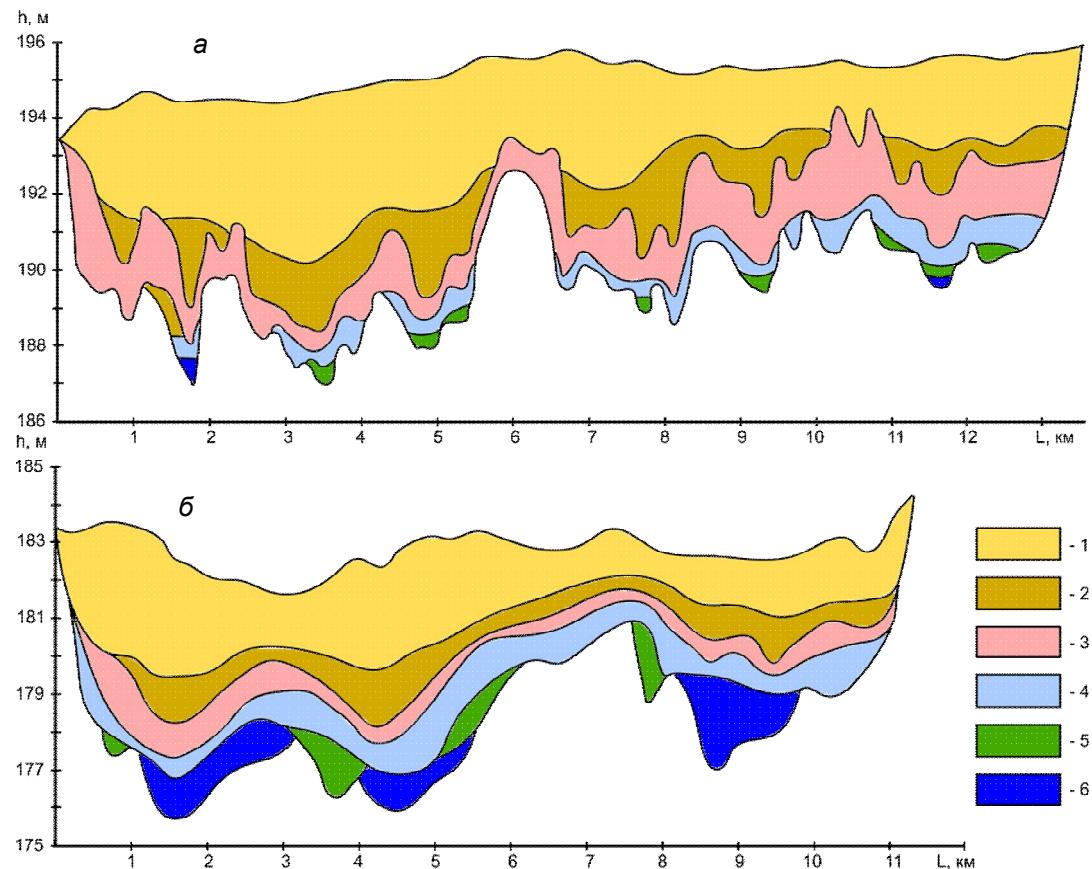


Рис. 3. Стратиграфия торфа в центральной части месторождений Славное (а) и Есмоновский Мх (б):
1–3 – верховой торф ($1 - R < 20,0 \%$; $2 - R = 20,0\text{--}35,0 \%$; $3 - R > 35,0 \%$); 4 – переходный торф;
5 – низинный торф; 6 – сапропель

Fig. 3. Peat stratigraphy of in the central part of Slavnoe (a) and Esmonovsky Moh (b) deposits: 1–3 – upper peat ($1 - R < 20,0 \%$; $2 - R = 20,0\text{--}35,0 \%$; $3 - R > 35,0 \%$); 4 – transitive peat; 5 – lower peat; 6 – sapropel

В табл. 4 приведены некоторые агрохимические характеристики и показатели валового состава верхового торфа детально разведанных месторождений, которые имеют важное значение для оценки пригодности торфяного сырья для выпуска продукции комплексного назначения. Следует отметить, что содержание оксидов железа, кальция, алюминия, общей серы не превышает установленные ТНПА нормативы. Все исследованные торфа имеют кислую реакцию (рН изменяется от 2,6 до 4,7 ед.), максимальное содержание оксида фосфора составляет 0,65 %, среднее 0,04–0,11 %. Содержание общего азота находится на среднем уровне для верхового торфа и только в восточной части месторождения Габы несколько увеличено.

Актуальной задачей при выборе зарезервированных для комплексного освоения торфяных месторождений является оценка объемов разведанных запасов торфа по их пригодности для выпуска конкретной продукции. Проведен анализ имеющихся подходов по комплексному освоению торфяных ресурсов и разработаны критерии их пригодности для производства разнообразной по назначению продукции из торфа всех типов [5, 8]. Эти критерии в обобщенном виде по различным вариантам использования верхового, переходного и низинного торфа представлены в табл. 5.

Возможные направления и объемы производства продукции из верхового торфа на зарезервированных участках и месторождениях с учетом вещественного состава торфяного сырья сведены в табл. 6. Наибольшие запасы верхового торфа сосредоточены на самом крупном из исследованных месторождении Долбенишки Шарковщинского района Витебской области, площадь которого составляет более 4400 га, а объем запасов – более 160 млн м³ (24 млн т при 40 %-ной условной влажности). Всего на зарезервированных для комплексной биотермохимической переработки торфа в 14 месторождениях выявлено 51,9 млн т верхового и суммарно 2,8 млн т переходного и низинного торфа. Общий объем торфа равен более 400 млн м³.

Таблица 4. Некоторые качественные характеристики торфа на зарезервированных крупных участках торфяных месторождений**Table 4. Some qualitative characteristics of peat in the reserved large areas of peat deposits**

Но- мер по ка- да- стру	Торфяное место- рождение	Пер- спек- тивная пло- щадь, га	Объем запа- сов, тыс. м ³	R, %	A ^c , % с. в.	W	Fe ₂ O ₃	CaO	Al ₂ O ₃	S _{общ}	P ₂ O ₅	N _{общ}	% на сухое вещество				рН
697	Славное	2991	87 852	4–55 24	0,8–8,9 1,96	87,9–94,6 93,3	0,06–0,17 0,11	0,1–0,58 0,25	0,03–0,45 0,31	0,04–0,18 0,13	0,03–0,15 0,04	1,02–1,65 1,2	3,3–3,9 3,5				
63	Есмоловский Мох	2644	80 933	5–42 18,5	2–5 2,75	88,6–94,3 92,9	0,07–0,75 0,19	0,08–1,11 0,33	0,19–2,35 0,59	0,03–0,38 0,11	0,01–0,15 0,05	0,6–1,52 0,98	2,8–3,8 3,2				
507	Долбенишки (центральная часть)	4437	161 500	5–50 27	0,7–6,4 2,24	78,7–95,8 88,9	0,13–0,9 0,37	0,24–0,66 0,36	–	0,05–0,25 0,12	0,04–0,08 0,06	–	2,6–3,85 3,2				
13	Габы (восточная часть)	600	20 674	4–55 25	0,7–9,8 25	80,2–97,1 92,3	0,04–1,41 0,23	0,12–2,23 0,58	0,02–0,76 0,22	0,03–0,58 0,10	0,01–0,65 0,11	0,48–2,86 1,58	2,6–4,7 3,25				
1194	Ваньковщина	448	7698	9–68 44	1,9–15 3,2	85,9–93,1 88,9	0,1–0,4 0,2	0,2–0,9 0,3	0,8–2,4 1,0	0,04–0,3 0,10	0,05–0,21 0,08	0,9–2,0 1,02	3,0–3,5 3,2				

П р и м е ч а н и е . Числитель – пределы содержания, знаменатель – средние значения.

Таблица 5. Параметры по оценке пригодности торфа для выпуска продукции комплексной переработки на зарезервированных торфяных месторождениях**Table 5. Parameters for assessing the suitability of peat for the production of complex processing at reserved peat deposits**

Вариант использования	Продукция	Параметры пригодности торфа		
		степень разложения, (R), %	зольность, (A^c), %	группа торфа по ботаническому составу
<i>Верховой торф</i>				
1-й	Подстилочные, изоляционные и упаковочные материалы, горшочки для рассады	≤ 20	≤ 15	Моховая (мхов ≥ 70,0 %, пушкины ≤ 15,0 %)
2-й	Сорбенты нефтепоглощающие	≤ 15	≤ 5	Травяная и травяно-моховая
3-й	Сорбенты газопоглощающие	≤ 35	≤ 10	Травяная и травяно-моховая
4-й	Торфощелочные реагенты	≥ 30	≤ 10	Все группы
5-й	Красители для древесины, текстиля, кожи	≥ 25	≤ 5	Все группы
6-й	Гуматсодержащие биологически активные препараты, кормовые добавки, консерванты кормов	≥ 25	≤ 12	Моховая
7-й	Воск торфяной	≥ 30	≤ 10	Все группы (битум бензиновый ≥ 4,0 %)
8-й	Кокс торфяной	≥ 35	≤ 5	Все группы
9-й	Активный уголь	≥ 30	≤ 3	Все группы
<i>Низинный и переходный торф</i>				
10-й	Мелиоранты и питательные грунты	20–30	≤ 25	Не регламентируется
11-й	Органические удобрения	≥ 20	≤ 25	Не регламентируется (оксиды железа ≤ 5,0 %)
12-й	Компосты	≥ 20	≤ 40	Не регламентируется
13-й	Комплексные гранулированные удобрения	≥ 20	≤ 25	Древесно-травяная и травяная
14-й	Ингибиторы коррозии металлов	≥ 25	≤ 10	Травяная и травяно-моховая
15-й	Энергетическое и бытовое топливо	≥ 20	≤ 23	Не регламентируется

Таблица 6. Возможные направления и объемы производства продукции из верхового торфа на зарезервированных торфяных месторождениях**Table 6. Possible directions and production volumes from high-moor peat on the reserved peat deposits**

Кадастровый номер	Торфяное месторождение	Запас верхового торфа при 40,0 %-ной влажности, тыс. т									
		всего	в том числе пригодно для производства продукции по вариантам (см. табл. 5)								
			1-му	2-му	3-му	4-му	5-му	6-му	7-му	8-му	9-му
705	Долбенишки	24 000	3120	1950	17750	14380	9600	16800	15110	1460	1810
697	Славное	9628	4620	2890	6740	2600	4040	5960	2700	2130	1920
504	В пойме рек Волма и Слоуст (участок «Горелое Пухово»)	1887	760	500	1320	415	600	1000	450	380	300
13	Габы (северо-восточный участок)	2129	550	410	1490	400	660	790	360	210	190
858	Ореховский Мх (участок «Валерьяны»)	1332	425	240	680	440	520	660	430	400	270
1117	Скачальское Озеро	836	385	330	530	160	200	310	170	140	90
368	Ольховое Усолонье	223	25	—	180	80	110	200	30	15	—
63	Есмоновский Мх	8043	5070	3220	6840	780	1610	1810	790	480	320
1538	Тажиловский Мх	682	30	—	110	480	620	670	470	450	400
1337	Залитвинский Мх	1149	265	170	540	590	650	680	570	550	340
1299	Расмацкое	431	40	—	210	260	300	350	220	100	—
1194	Ваньковщина	1088	200	110	380	680	750	810	650	430	350
1202	Большой Мх	175	25	20	150	35	60	110	40	20	10
1198	Сосновка	341	85	60	180	100	80	150	110	35	—
Всего:		51 944	15 600	9900	37 100	21 400	19 800	30 300	22 100	6800	6000

Крупные запасы верхового торфа сосредоточены также на месторождениях Славное и Есмоновский Мох, которые, в отличие от первого, разведаны детально и в геологическом отношении подготовлены для разработки. На зарезервированных перспективных для комплексного использования участках отдельных крупных месторождений Габы, В пойме рек Волма и Слоуст, Ореховский Мох и менее крупных месторождениях Залитвинский Мох и Ваньковщина запас верхового торфа на каждом из них составляет более 1 млн т. На остальных месторождениях запасы верхового торфа оцениваются менее чем в 1 млн т, однако его разнообразный вещественный состав позволяет рассматривать данные месторождения как перспективные для освоения в будущем.

Анализ распределения разведенных запасов верхового торфа определенного качества на 14 перспективных участках и месторождениях показывает, что наибольшие его объемы пригодны для выпуска газоглущающих сорбентов, гуматодержащих биологически активных препаратов, кормовых добавок и консервантов кормов, торфяного воска, торфоцелочных реагентов. Для каждого из обозначенных выше направлений использования на изученных и проанализированных месторождениях можно использовать не менее 20 млн т разнообразного по качеству торфяного сырья. Наименьшие суммарные объемы разведенного верхового торфа пригодны для выпуска нефтеглущающих сорбентов, торфяного кокса и активных углей – менее 10 млн т под каждое из направлений, которые характеризуются научной продукцией с высокой добавленной стоимостью.

Наиболее перспективными для размещения участков по добыче торфяного сырья для организации выпуска торфяных сорбентов, кокса и активных углей являются крупные месторождения Славное и Долбенишки, а также меньшие по площади и объему запасов месторождения Тажиловский Мох и Залитвинский Мох.

Переходный и низинный торф на зарезервированных месторождениях распространен в нижних частях разрезов и изредка выходит на поверхность, преимущественно на окраинах залежей. Наибольшие запасы переходного и низинного торфа выявлены на торфяных месторождениях Есмоновский Мох, северо-восточном участке месторождения Габы, участке «Валерьяны» месторождения Ореховский Мох и на месторождении Скачальское Озеро. Всего перечисленные типы торфа занимают объем 21,1 млн м³, или 5,0 % общего объема разведенных залежей.

Возможные направления и прогнозные объемы производства продукции из низинного и переходного торфа изученных месторождений представлены в табл. 7. Следует отметить, что на некоторых месторождениях, разведенных маршрутно или рекогносцировочно, запасы низинного и переходного торфа практически отсутствуют, так как он обнаружен в единичных пробах. Поэтому перечень объектов в табл. 7 несколько короче, чем для направлений использования верхового торфа (см. табл. 6).

Качественные параметры исследованных запасов низинных и переходных торфов на девяти месторождениях позволяют заключить, что практически все из них могут использоваться для производства компостов (2,7 млн т), органических удобрений (2,3 млн т), энергетического и бытового топлива (2 млн т). Для производства питательных грунтов и ингибиторов коррозии металлов возможно использовать 1,2 и 0,8 млн т торфяного сырья рассматриваемого типа соответственно.

Таблица 7. Возможные направления и объемы производства продукции из переходного и низинного торфа на зарезервированных торфяных месторождениях

Table 7. Possible directions and production volumes from transitional and lowland peat on reserved peat deposits

Кадастровый номер	Торфяное месторождение	Запас переходного и низинного торфа при 40,0 %-ной влажности, тыс. т					
		всего	в том числе пригодно для производства продукции по вариантам (см. табл. 5)				
			10-му	11-му	12-му	13-му	14-му
697	Славное	401	200	350	390	330	140
504	В пойме рек Волма и Слоуст (участок «Горелое Пухово»)	142	70	130	140	100	50
13	Габы	788	400	510	760	370	200
858	Ореховский Мох (участок «Валерьяны»)	312	130	290	310	260	100
1117	Скачальное Озеро	222	80	200	220	170	60
63	Есмоновский Мох	605	230	580	600	320	160
1538	Тажиловский Мох	140	40	120	130	70	40
1337	Залитвинский Мох	73	20	60	70	40	20
1194	Ваньковщина	82	30	60	80	40	30
		Всего:	2765	1200	2300	2700	1700
						800	2000

Выполненная с учетом всех имеющихся геологоразведочных материалов оценка запасов и качественных характеристик торфяного сырья на специально зарезервированных для комплексной переработки торфа залежах позволила определить расположение перспективных участков на четырех крупных месторождениях. Здесь специально предназначенные для биотермохимической переработки площади составляют часть всего торфяного месторождения. Расположение данных площадей относительно контура всего месторождения не оговорено в приложении к Указу Президента Республики Беларусь [3] и не уточнено в последней редакции Схемы [2].

Перспективный для комплексного использования торфа **участок на месторождении Габы** (Мядельский район) площадью 600 га размещается в центральной и северной частях восточного отрога месторождения (рис. 4, а). На участке преобладает верховой торф средней степени разложения, объем которого составляет 46,0 % общего объема залегающего здесь торфяного сырья. С одной стороны, торфяная залежь на участке в наиболее углубленных местах минерального ложа подстилается сапропелем, площадь которого занимает около 20,0 % общей площади участка. На участке велики запасы низинного и переходного типов торфа, которые сменяют сапропель выше по разрезу залежи и суммарно составляют 27,0 % общего объема торфяной залежи. С другой стороны, объем торфа высокой степени разложения невелик – 11,0 % общего объема на участке. Данный торф, а также верховой торф со степенью разложения 25,0–35,0 % и подстилающий слой переходного торфа категории П-3-(1-2) составляют так называемый восконосный слой в средней части разрезов торфяной залежи.

Надвосконосный слой верхового торфа малой степени разложения на северо-восточном перспективном для освоения участке месторождения Габы на площади 600 га оценивается в 5,5 млн м³, что составляет 26,0 % общих запасов на данном участке. Площадь южнее перспективного для комплексного использования торфа участка практически не имеет в своем составе торфа высокой и повышенной степени разложения и по итогам прежних разведок рекомендуется как сырьевая база для производства, главным образом подстилочного торфа, в том числе на экспорт.

Перспективный **участок верхового торфа «Горелое Пухово» на месторождении В пойме рек Волма и Слоуст** (Минский район) площадью 275 га приурочен к центральной части месторождения, которое расположено в Минском, Смолевичском и Червенском районах (рис. 4, б). Общая площадь специальной разведки, выполненной в 1984 г., составляет 398 га, а площадь подсчета запасов на перспективном для разработки участке – 278 га с общими запасами торфа 2,03 млн т, или 10,9 млн м³. Объем верхового торфа малой степени разложения на участке составляет 40,0 %, верхового торфа ($R = 20,0\text{--}35,0\%$) – 33,0, сильно разложившегося торфа ($R > 35,0\%$) – 20,0 %. При этом объем низинного и переходного торфа в сумме достигает 7,0 % общего объема запасов.

Зарезервированный для освоения верхового торфа **участок «Валерьяны» торфяного месторождения Ореховский Мх** расположен в Узденском районе на запад от автодороги Р-23 Минск–Микашевичи и северо-запад от местной шоссейной дороги районного значения Валерьяны–Гута (рис. 4, в). Общая площадь зарезервированного участка составляет 400 га, площадь геологической разведки – 422 га. Общий объем торфа на участке «Валерьяны» составляет 9,6 млн м³, или 1,64 млн т при условной влажности 40,0 %.

На участке «Валерьяны» преобладает верховой торф малой степени разложения (32,0 % общего объема) и сильно разложившийся торф данного типа (30,0 %). Верховой торф средней степени разложения и остальные типы торфа (низинный и переходный) составляют по 19,0 % общего объема запасов на участке. Качественные характеристики верхового торфа на исследованном участке позволяют заключить, что восконосный слой со средней степенью разложения торфа 39,0 % и средним содержанием бензиновых битумов 6,1 % преобладает по объему запасов, составляя 4,65 млн м³. Надвосконосный слой, прикрывающий сверху восконосный, занимает объем 3,06 млн м³, а объем подстилающего их низинного и переходного торфа оценивается суммарно в 1,88 млн м³.

В конце прошлого века участок «Валерьяны» был осущен открытой сетью каналов, на его площади 115 га производилась добыча топливного торфа торфобрикетным заводом «Слуцкий». На остальной площади проектировался участок 210 га для расширения добычи. На юго-запад от участка «Валерьяны», предназначенного для комплексной переработки торфа, включая биотермохимическую, ранее добывался торф для производства органических удобрений и компостов.

Перспективный для комплексной биотермохимической переработки торфа верховой **участок на месторождении Скачальское Озеро** (Стародорожский район) занимает площадь 240 га и располагается на север, запад и юго-восток от водоема с одноименным названием (рис. 4, г). Специальная разведка для выделения восконосного слоя торфа, а также слоя для производства торфяной подстилки и гидролизного сырья на данном участке проведена в 1957 г. на площади в промышленной глубине торфяной залежи 368 га. Восконосный слой торфа данного участка характеризуется высоким содержанием бензиновых битумов, которое в среднем составляет 8,6 % на ОВ при вариациях от 6,6 до 11,1 %. Следует отметить, что в отличие от рассмотренных выше участков других

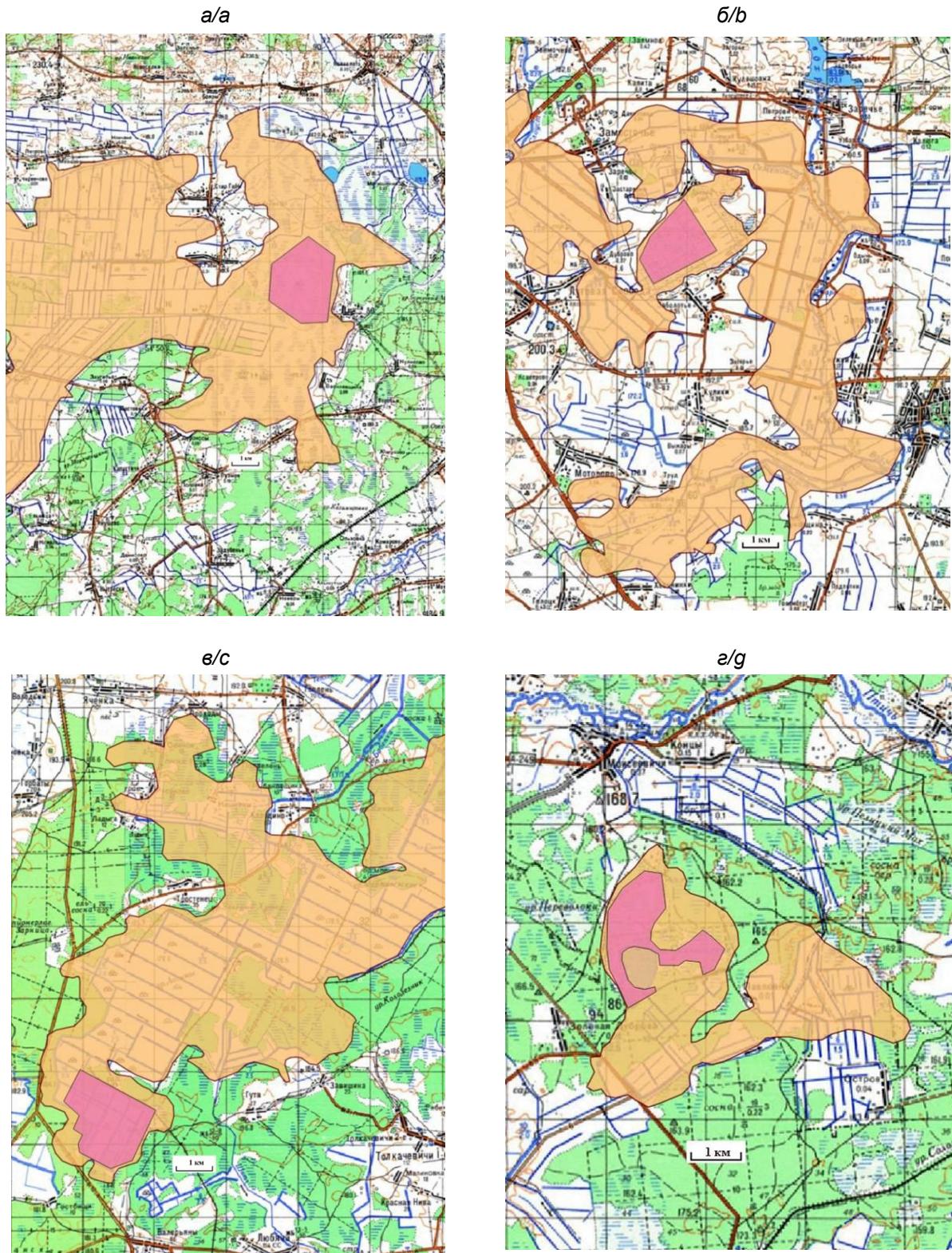


Рис. 4. Размещение перспективных для комплексного освоения участков на торфяных месторождениях Габы (а), В пойме рек Волма и Слоуст (б), Ореховский Мх (в) и Скачальское Озеро (г)

Fig. 4. The placement of prospective areas for integrated development on Gaba (a) peat deposits, In the flood-plain of the rivers Volma and Sloust (b), Orekhovsky Moh(c), lake Skachalskoe (g)

месторождений восконосный слой торфа здесь занимает меньший объем, чем залегающий сверху надвосконосный слой. Объем первого составляет 2,15 млн м³, второго – 3,03 млн м³. В процентном отношении в целом залежь торфа на перспективном участке месторождения Скачальное Озеро характеризуется следующими показателями: объем слабо разложившегося торфа ($R < 20,0\%$) – 3,03 млн м³, или 46,0 % общего объема; торф средней степени разложения ($R = 20,0\text{--}35,0\%$) – 1,26 млн м³, или 19,0 %; торф высокой степени разложения ($R > 35,0\%$) – 0,9 млн м³, или 14,0 %; низинный и переходный торф в сумме – 1,36 млн м³, или 21,0 % общего объема на участке.

На юг от озера ранее действовал участок по добыче торфа для производства компостов и органических удобрений.

Заключение. Выполненный анализ запасов и состава торфа на специально зарезервированных для комплексной, включая биотермохимическую, переработки торфяного сырья на 14 месторождениях позволил оценить степень детальности выполненных геологоразведочных работ и провести инвентаризацию торфяных ресурсов на каждом объекте, выделить наиболее перспективные для освоения месторождения и участки верхового типа на смешанных залежах, определить границы их распространения, а также обосновать возможные направления использования и прогнозные объемы производства торфяной продукции.

Установлено, что зарезервированные месторождения расположены в трех административных областях – Витебской, Минской, Могилевской – и имеют различную по детальности степень геологической изученности. Детальными изысканиями охвачено более 75,0 % площади месторождений с особо ценными видами торфа. Все зарезервированные торфяные месторождения или их участки с фондом особо ценных видов торфяного сырья относятся к верховому типу. На крупных месторождениях Славное, В пойме реки Волма и Слоуст (участок «Горелое Пухово»), Ореховский Мох (участок «Валерьяны»), Скачальное Озеро, Есмоновских Мох в разное время проведены, кроме детальной, специальные разведки или доразведки с целью дополнительного определения ресурсов и состава битуминозного торфа, торфа для производства торфяной подстилки и гидролизного производства. Некоторые месторождения для более точной оценки запасов и качественных параметров залежей торфа должны быть детально доразведаны. Это два месторождения (Сосновка и Ольховое Усолонье), которые разведаны маршрутно в довоенное время и полные отчетные материалы по ним не сохранились. Запасы торфа на четырех месторождениях Могилевской области (Тажиловский Мох, Залитвинский Мох, Расмацкое и Большой Мох) изучены рекогносцировочно и полученные данные по запасам торфа имеют прогнозный характер.

В пределах перспективных месторождений или зарезервированных участков сосредоточено 408,2 млн м³ торфа, который на 95,0 % сложен верховыми видами. При средней влажности торфа 92,0 % и степени разложения 28,0 % запас перспективного торфа для комплексной безотходной переработки на всех зарезервированных месторождениях и отдельных участках составляет 54,7 млн т при 40,0 %-ной условной влажности.

Инвентаризация торфяных ресурсов на зарезервированных месторождениях с особо ценными видами торфа показывает, что наибольшее распространение на исследованных месторождениях имеет торф средней степени разложения, который суммарно занимает 47,0 % общего объема, или 190,3 млн м³. Торф средней степени разложения преобладает на торфяном месторождении Долбенишки (81,0 % общих запасов), специально разведенном участке в восточной части месторождения Габы (46,0 %) и месторождении Большой Мох.

Сильно разложившийся торф, который перспективен как сырье для активных углей, торфяного кокса и как битуминозное сырье, относительно превалирует на месторождениях Залитвинский Мох, Ваньковщина и Тажиловский Мох в Могилевской области, составляя 47,0 58,0 и 67,0 % общего объема запасов на месторождении соответственно. По абсолютным запасам торфа высокой степени разложения выделяется месторождение Славное – 19,5 млн м³, или 22,0 % общего объема и месторождение Долбенишки – 9,8 млн м³ (6,0 %).

Торф малой степени разложения относительно преобладает на месторождениях Есмоновский Мох – 51,1 млн м³ (63,0 % общего объема запасов), Славное – 42,4 млн м³ (48,0 %), Скачальное Озеро – 3,0 млн м³ (46,0 %), на участке «Горелое Пухово» месторождения В пойме рек Волма и Слоуст – 4,35 млн м³ (40,0 %) и участке «Валерьяны» месторождения Ореховский Мох – 3,06 млн м³ (32,0 % общего объема запасов). Значительные объемы торфа малой степени разложения на месторождениях объясняются природными условиями формирования, когда залежи торфа распространяются на низких относительных высотах и отличаются постоянно высокой обводненностью по сравнению с окружающими болотными ландшафтами.

Переходный и низинный торф на зарезервированных месторождениях распространен в нижних частях разрезов. Наибольшие его запасы выявлены на торфяном месторождении Есмоновский Мох, северо-восточном участке месторождения Габы, участке «Валерьяны» месторождения Ореховский

Мох и месторождении Скачальское Озеро. Всего перечисленные типы торфа занимают объем 21,1 млн м³, или 5,0 % общего объема разведанных залежей.

Проведенная оценка запасов и качественных характеристик торфяного сырья на залежах торфа позволяет определить расположение перспективных участков на четырех крупных месторождениях (Габы, Ореховский Мох, В пойме рек Волма и Слоуст, Скачальское Озеро). На них зарезервированные площади составляет часть всего торфяного месторождения, их границы не оговорены в специальном Указе Главы государства и в новой Схеме распределения торфяных месторождений по направлениям использования на период до 2030 года.

Качественные характеристики и объем разведенных запасов верхового торфа на 14 перспективных участках и месторождениях позволяют констатировать, что наибольшие его объемы пригодны для выпуска газопоглощающих сорбентов, гуматодержащих биологически активных препаратов, кормовых добавок и консервантов кормов, торфяного воска, торфощелочных реагентов. Под каждое из этих направлений использования на месторождениях имеется более 20 млн т торфяного сырья. В соответствии с регламентными требованиями меньшие суммарные объемы производства продукции из разведенного верхового торфа пригодны для выпуска нефтепоглощающих сорбентов, торфяного кокса и активных углей – менее 10 млн т под каждое из направлений. Наиболее перспективными для размещения участков по добыче торфяного сырья для организации выпуска торфяных сорбентов, кокса и активных углей являются крупные месторождения Славное и Долбенишки, а также меньшие по площади и по объему запасов месторождения Тажиловский Мох и Залитвинский Мох.

Список использованных источников

1. Государственная программа «Торф» на 2008–2010 годы и на период до 2020 года. – Минск, 2008. – 140 с.
2. Стратегия сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников. Утверждена Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30.12.2015 г. № 1111.
3. Об установлении ограничений на пользование недрами на отдельных участках. Указ Президента Республики Беларусь от 12.11.2007 г. № 563 // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь от 13.11.2007 г. № 1/9083.
4. Бамбалов, Н. Н. Справочник ресурсов битуминозного сырья Белорусской ССР / Н. Н. Бамбалов, С. Г. Беленький, А. Г. Дубовец, В. В. Смирнова. – Минск : Наука и техника, 1986. – 85 с.
5. Торфяные месторождения Республики Беларусь, пригодные для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективу / Л. С. Лис [и др.] ; под. ред. И. И. Лиштвана. – Минск : Беларуская навука, 2013. – 115 с.
6. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск : Наука и техника, 1975. – 320 с.
7. Торфяной фонд Белорусской ССР : кадастровый справочник : в 6 кн. – Минск, 1979.
8. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларуская навука, 2009. – 328 с.

References

1. Gosudarstvennaya programma «Torf» na 2008–2010 gody i na period do 2020 goda ["Peat" state program for 2008–2010 and for the period up to 2020]. Minsk, 2008, 140 p. (in Russian).
2. Strategiya sohraneniya i ratsionalnogo (ustoychivogo) ispolzovaniya torfyanikov. Utverzhdena Postanovleniem Soveta Ministrov Respubliki Belarus ot 30.12.2015 g. # 1111 [Strategy of conservation and rational (sustainable) use of peatlands. Approved by the Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus on December 30, 2015, no. 1111] (in Russian).
3. Ob ustanovlenii ograniceniy na polzovanie nedrami na otdelnyih uchastkakh. Ukaz Prezidenta Respubliki Belarus ot 12.11.2007 g. # 563. Natsionalnyiy reestr pravovyih aktov Respubliki Belarus ot 13.11.2007 g. # 1/9083 [On the establishment of restrictions on the use of subsoil in certain areas. Decree of the President of the Republic of Belarus on November 12, 2007 No. 563. National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus of November 13, 2007 No. 1/9083] (in Russian).
4. Bambalov N. N., Belenkiy, A. G., Dubovets V. V. Spravochnik resursov bituminoznogo syrya Belorusskoy SSR Smirnova [Directory of the resources of the bituminous raw materials of Belorussian SSR]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1986, 85 p. (in Russian).
5. Lis L. S. [i dr.]. Torfyanyie mestorozhdeniya Respubliki Belarus, prigodnyie dlya kompleksnogo osvoeniya na blizhayshuyu i otdalennuyu perspektivu. Pod. Red. I. I. Lishtvana [Peat deposits of the Republic of Belarus, suitable for integrated development for the near and distant future]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2013, 115 p. (in Russian).
6. Lishtvan I. I., Korol N. T. Osnovnyie svoystva torfa i metody ih opredeleniya [The main properties of peat and methods for their determination]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1975, 320 p. (in Russian).

7. *Torfyanoy fond Belorusskoy SSR : kadastrovyyi spravochnik, v 6 kn.* [Peat Fund of the Byelorussian SSR: cadastral reference book: in 6 books]. Minsk, 1979 (in Russian).
8. Tomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and its proceeding products]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009, 328 p.

Информация об авторах

Лиштван Иван Иванович – академик, д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Курзо Борис Валентинович – д-р техн. наук, доцент, зав. лаб. использования и охраны торфяных и сапропелевых месторождений, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kurs@ecology.basnet.by

Гайдукевич Олег Михайлович – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Навоша Юльян Юльянович – канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: navoscha@tut.by

Information about the authors

Ivan I. Lishtvan – Academician, D.Sc. (Technical), Professor, Chief Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Boris V. Kurzo – D.Sc. (Technical), Associate Professor, Head of Lab of peat and sapropel deposits utilization and protection, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kurs@ecology.basnet.by

Oleg M. Gaidukevich – Ph.D. (Technical), Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Yulian Yu. Navosha – Ph.D. (Physical and Mathematical), Leading Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: navoscha@tut.by

ВЛИЯНИЕ ПРОМОРАЖИВАНИЯ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД ИЗ УЧАСТКОВ ПРОХОДКИ ШАХТНЫХ СТВОЛОВ

А. Г. Бровка, И. В. Дедюля

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведены методики исследования и результаты влияния глубокого промораживания на прочностные свойства основных типов грунтов (суглинков, глин и песков). Определены значения временного сопротивления сжатию и касательные сдвигающие напряжения методом двухплоскостного среза при нормальном давлении 1 МПа для указанных грунтов при температуре +10 °C без замораживания и те же величины для аналогичных образцов после промораживания при температуре –38 °C. Установлено, что промораживание практически не влияет на значение временного сопротивления сжатию. Отклонения, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения, составили не более 10 %. Для касательного сдвигающего напряжения расхождения несколько выше: отклонения для глин и суглинков не превысили 15 %, а для песков после промораживания эта величина в среднем на 25 % выше, чем до замораживания.

Ключевые слова: основные типы грунтов; прочностные свойства; промораживание; двухплоскостной срез; сдвигающее напряжение.

Для цитирования. Бровка А. Г., Дедюля И. В. Влияние промораживания на прочностные свойства горных пород из участков проходки шахтных стволов // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 205–210.

INFLUENCE OF FREEZING ON THE STRENGTH PROPERTIES OF ROCKS FROM THE SITES OF SHAFT SINKING

A. G. Brovka, I. V. Dziadziulia

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

Abstract. The research methods and the results of the effect of deep freezing on the strength properties of the main types of soils (loams, clays and sands) are represented. The values of temporary resistance to compression and shear stresses were determined by the method of two-plane cut at a normal pressure of 1 MPa for these soils at +10 °C without freezing and the same values for similar samples after freezing at –38 °C. It has been established that freezing has practically no effect on the value of temporary resistance to compression. Deviations, both upward and downward, were no more than 10 %. For tangential shear stress, the discrepancies are somewhat higher: deviations for clays and loams did not exceed 15 %, and for sands after freezing, this value is on average 25 % higher than before freezing.

Key words: main types of grounds; strength properties; freezing; two-plane cut; shear stress.

For citation. Brovka A. G., Dziadziulia I. V. Influence of freezing on the strength properties of rocks from the sites of shaft sinking. *Prirodopolzovanie*. 2019, no 1, pp. 205–210.

Проектирование различных объектов строительной и горнодобывающей областей промышленности требует наличия данных о прочностно-деформационных характеристиках грунтов, на которых эти объекты возводятся. В горнодобывающей промышленности вопрос особо актуален в связи с необходимостью бурения или проходки шахтных стволов в неустойчивых сыпучих и слабых грунтах. В таких случаях используются технологии с применением искусственного замораживания грунтов. При проведении предварительных расчетов, которые в таких случаях обязательны, требуются знания о том, насколько меняются физические свойства грунтов после их промораживания при достаточно низких температурах.

Цель настоящей работы – исследовать влияние промораживания на значение величин временного сопротивления сжатию ($R_{сж}$) при одноосном сжатии и на значение касательного сдвигающего напряжения при заданном нормальном напряжении при осуществлении двухплоскостного среза.

Определение временного сопротивления сжатию проводили на устройстве одноосного сжатия автоматизированного испытательного комплекса АИК «АСИС» производства ООО «НПП «ГЕО-ТЕК» (Россия). Устройство позволяло задавать скорость линейной деформации образца исследуемо-

го грунта в диапазоне от 0,0001 до 10 мм/мин и регистрировать зависимость силы воздействия на ис- следуемый образец от времени.

Для того чтобы найти различие прочностных свойств грунтов до замораживания и после их оттаивания, необходимы максимально одинаковые образцы, используемые в обоих случаях. Поэтому образцы формовали, а не вырезали из монолитов. Для их приготовления использовали стальные кассеты с внутренним диаметром 75 мм и высотой 160 мм, что позволило сформовать образцы цилиндрической формы диаметром 75 мм и высотой 150 мм. Подготовку образцов осуществляли следующим образом. Рассчитывали массу материала, необходимую для изготовления образца с указанными размерами, по формуле $m = \rho v$, где v – объем образца, ρ – плотность образца. Причем использовали значение плотности, соответствующее этому же образцу, но ненарушенной структуры. Далее формование образца производили с помощью пресса под давлением, равным горному давлению на глубине отбора пробы. Поскольку все опыты проводили с трехкратной повторностью, из каждого грунта было изготовлено по шесть образцов: три – для определения временного сопротивления сжатию ($R_{сж}$) до замораживания и три – после оттаивания. Три из них сразу же выпрессовывали из кассет и упаковывали в полиэтиленовые пакеты, а три в кассетах, также упакованные в полиэтиленовые пакеты, помещали в морозильную камеру с температурой -38°C и после замерзания выпрессовывали в замороженном состоянии. Длительность промораживания образцов во всех случаях составляла 24 часа. За это время гарантированно происходило полное замерзание поровой влаги. В обоих случаях выпрессованные образцы в полиэтиленовых пакетах сразу помещали в камеру для проведения испытаний, в которой уже была установлена температура $+10^{\circ}\text{C}$.

Непосредственно эксперименты проведены в морозильной камере НКР-1, которая позволяет поддерживать температуру с точностью $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ в диапазоне температур от комнатной до -25°C . Внутри камеры установлены: устройство осевого нагружения, приспособление одноосного сжатия автоматизированного испытательного комплекса «АСИС» и сдвиговой прибор АНБ 760А. Измерительную систему «АСИС» располагали за пределами камеры.

На рис. 1 приведена схема проведения опыта. Испытуемый образец 1 размещали на рабочем столе устройства одноосного сжатия 2 комплекса АИК «АСИС» между двумя штампами 3 по схеме, указанной на рисунке. Диаметры штампов совпадали с диаметрами образцов – 75 мм. В верхнем штампе предусмотрено специальное гнездо, в которое входил шток 4, передававший на образец нагрузку. К верхней части штока жестко прикреплен кронштейн 5 для крепления датчика вертикальных перемещений 6. В свою очередь, приспособление одноосного сжатия располагали на рабочем столе устройства осевого нагружения 7 того же комплекса. Подвижной частью последнего устройства является рама, состоящая из двух стоек 8 и двух балок. Нижняя балка расположена внутри корпуса и на рис. 1 не изображена. На верхней балке 9 расположен датчик силы 10. Рама имеет возможность двигаться вверх или вниз с заданной скоростью, создавая при этом усилие на штоке до 50 кН.

При проведении опыта задавали скорость движения рамы, а, следовательно, и скорость развития деформации. Электронная система фиксировала при этом деформацию и рост силы, действующей со стороны движущейся рамы на шток, а значит и изменение давления на образец. Опыт прекращали после того, как это давление начинало падать, т. е. практически после разрушения образца. При расчете давления разрушения к значению силы, зафиксированной системой, припускали вес штампа (вес штока учитывался системой). Их сумму, выраженную в ньютонах, делили на площадь основания образца. Скорость развития линейной деформации во всех опытах составляла 2,5 мм/мин.

Определение касательного сдвигающего напряжения методом двухплоскостного среза проводили на устройстве для испытания на сдвиг мерзлых грунтов и льда (АНБ-760А), совмещенным с комплексом АИК «АСИС». Принцип действия и различные результаты исследований на АНБ-760 неоднократно публиковали [1, 2]. В данной работе использовано устройство с рычажным приводом подвижной обоймы.

Образцы для этих исследований готовили по такой же схеме, что и для определения временного сопротивления сжатию. Поскольку все результаты получены с трехкратной повторностью, а в прибор АНБ-760А закладывали сразу два образца диаметром 50 мм и высотой 75 мм, готовили 6 пар (12 штук) образцов грунта одного вида. Для их изготовления использованы стальные кассеты с внутренним диаметром 50 мм и высотой 100 мм. 3 пары образцов сразу выпрессовывали из кассет, упаковывали в полиэтиленовые мешки и помещали в рабочую камеру, температура в которой составляла $+10^{\circ}\text{C}$. Оставшиеся 3 пары кассет с образцами помещали в полиэтиленовые пакеты и промораживались при температуре -38°C в течение 24 часов. Затем замерзшие образцы выпрессовывали и также, упакованные в полиэтиленовые мешки, помещали в камеру для проведения испытаний.

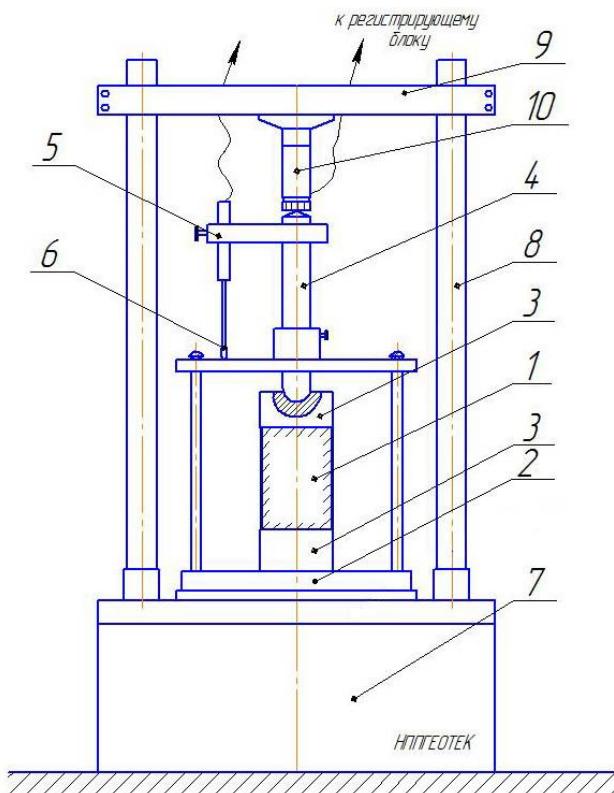


Рис. 1. Схема опыта по определению временного сопротивления сжатию грунтов: 1 – образец; 2 – рабочий стол; 3 – штампы; 4 – шток; 5 – кронштейн; 6 – датчик вертикальных перемещений; 7 – устройства осевого нагружения; 8 – стойки рамы; 9 – балка; 10 – датчик силы

Fig. 1. The scheme of an experiment on the determination of temporary soil compression resistance: 1 – sample; 2 – working desk; 3 – stamps; 4 – stock; 5 – bracket; 6 – vertical displacement sensor; 7 – axial loading devices; 8 – frame stands; 9 – beam; 10 – force sensor

На рис. 2 представлена схема собранной установки. Устройство для испытания на сдвиг 1 жестко крепили на специальной металлической платформе 2. При этом платформу посредством четырех регулировочных опор-винтов одновременно располагали на специальном столике 3 и на рабочем столе устройства осевого нагружения 4. Опоры-винты 5 позволяли часть платформы уложить всей плоскостью на поверхность рабочего стола устройства между стойками его рамы 6. На платформе жестко закрепляли П-образную стойку 7, в центре которой имелась втулка 8. Стойку на платформе располагали таким образом, что шток 9, который передавал на рычаг 10 нагрузку, двигался во втулке свободно. При движении рамы устройства осевого нагружения шток давил на рычаг, связанный с подвижной обоймой прибора АНБ-760. Движение рамы продолжали до осуществления сдвига. Максимальное зарегистрированное усилие в процессе движения подвижной обоймы использовали для расчета напряжения сдвига.

Нормальную нагрузку задавали с помощью специального блока, основным элементом которого являлась специально изготовленная пружина. На рис. 2 этот блок не отображен.

Связь сдвигающей и нормальной нагрузок описывается линейным уравнением (закон Кулона)

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c,$$

где τ – касательное сдвигающее напряжение; σ – нормальное напряжение; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения; c – сцепление.

Коэффициент внутреннего трения $\operatorname{tg} \varphi$ и сцепление c – нормативные величины, используемые в инженерных расчетах; их определяют в лабораторных условиях. При заданной температуре для одного и того же грунта измеряют сдвигающее напряжение при не менее чем трех нормальных напряжениях. Результаты двух таких измерений подставляют в уравнение закона Ньютона и решают

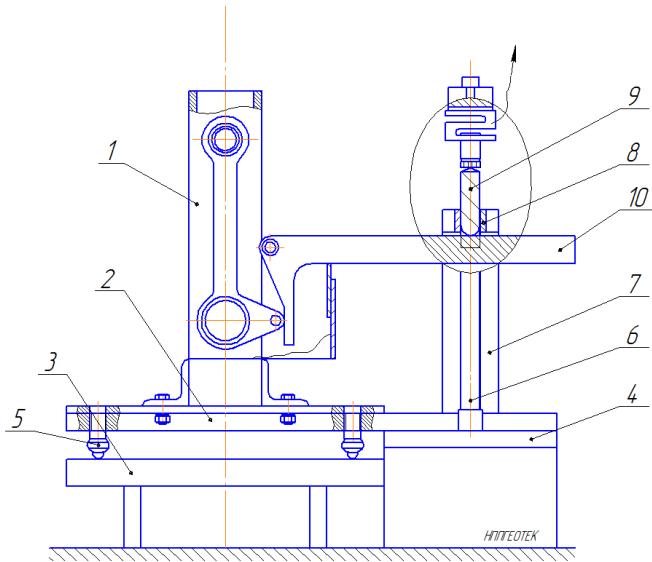


Рис. 2. Схема опыта по определению касательного сдвигающего напряжения методом одноплоскостного среза: 1 – устройство для испытания на сдвиг; 2 – металлическая платформа; 3 – столик; 4 – рабочий стол устройства осевого нагружения; 5 – опоры-винты металлической платформы; 6 – стойки рамы устройства осевого нагружения; 7 – П-образная стойка; 8 – втулка; 9 – шток; 10 – рычаг

Fig. 2. The scheme of an experiment on the determination of tangential shear stress by the method of single-plane cut: 1 – device for shear testing; 2 – metal platform; 3 – table; 4 – working desk of axial loading device; 5 – supports-screws of the metal platform; 6 – racks of the frame of the axial loading device; 7 – U-shaped stand; 8 – sleeve; 9 – stock; 10 – lever

простейшую систему уравнений относительно $\text{tg}\phi$ и c . Целью данной работы являлось определение влияния промораживания при достаточно низких температурах на прочностные свойства грунтов. Поэтому определяли только напряжение сдвига при заданной нормальной нагрузке, которая во всех опытах составляла 2000 Н, или в пересчете на нормальное давление 1 МПа.

По результатам экспериментов напряжение сдвига определяли по формуле

$$\tau = \frac{2(F + P)}{2S_0} + \frac{F_0}{2S_0},$$

где F – сила, действующая на шток, выраженная в ньютонах (показания ГЕОТЕК); $P = 9,2$ Н – вес штока; $F_0 = 36,6$ Н – приведенный вес рычага (составляющая силы, которая осуществляет двухплоскостной срез за счет веса рычага); $S_0 = 1,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ – площадь поперечного сечения образца. Таким образом, напряжение сдвига выражали в единицах давления – паскалях.

Обсуждение полученных результатов. По описанным выше методикам исследованы восемь образцов грунтов различного вида с естественным влагосодержанием. Их характеристики и результаты исследований представлены в таблице. Влагосодержание грунтов определяли до формирования из них образцов и сразу после завершения испытаний. Результаты измерений практически не отличались. Значения предельной нагрузки разрушения и касательного сдвигающего напряжения образцов являются средними значениями, которые получены в результате обработки данных из опытов, проведенных с трехкратной повторностью. Поскольку исследованы хорошо переработанные грунты, из которых были исключены крупнодисперсные включения, результаты отличались не более чем на 5 %. Приведенные в таблице значения плотности рассчитаны до проведения измерений после определения размеров и массы выпрессованных образцов. Измерения сил, разрушающих образец и создающих касательное напряжение сдвига, производили на силовом устройстве испытательного комплекса «АСИС», у которого предел допускаемой приведенной погрешности измерений силы составляет $\pm 0,5\%$.

Значения предельной нагрузки разрушения для всех испытанных видов мало отличаются до замораживания и после размораживания, а отклонения наблюдаются как в одну сторону, так и в другую. Максимальное расхождение получено для песка с влагосодержанием 0,17 кг/кг (образец № 2). Его предельная нагрузка разрушения после замораживания на 10 % выше, чем без промораживания.

Результаты исследований влияния промораживания на прочностные свойства грунтов**Results of studies of the effect of freezing on the strength properties of soils**

№ п/п	Вид грунта	Значение предельной нагрузки разрушения образца, МПа		Значение касательного сдвигающего напряжения образца, МПа		Плот- ность, кг/м ³	Влагосо- держа- ние, кг/кг
		без промо- раживания	после промо- раживания	без промо- раживания	после промо- раживания		
1	Суглинок мореный	0,32	0,30	0,68	0,53	2280	0,11
2	Песок	0,036	0,040	0,57	0,79	2000	0,17
3		0,063	0,070	0,39	0,52	1920	0,20
4	Глина	0,240	0,230	0,92	0,98	2190	0,16
5		0,170	0,180	0,47	0,57	2280	0,18
6		0,230	0,240	0,58	0,54	2050	0,22
7	Алеврлит	0,400	0,460	0,90	1,01	1960	0,24
8	Глина алевритистая	0,700	0,720	1,07	1,14	2070	0,21

Примечание. $t = +10^{\circ}\text{C}$.

При этом абсолютные значения этой величины для песков практически на порядок меньше, чем для других грунтов, а вот для образцов № 1 (суглинок мореный) и № 4 (глина, $w = 0,16 \text{ кг}/\text{кг}$), наоборот, нагрузка разрушения без промораживания выше, чем после промораживания, на 6,7 и 4,0 % соответственно.

Разброс значений касательного сдвигающего напряжения для всех испытанных грунтов несколько выше. Так, для испытанных песков эти величины после промораживания выше, чем без промораживания на 28 % для образца № 2 и на 25 % для образца № 3. Объяснить явление можно тем, что в материале в процессе замораживания могут происходить процессы и коагуляции, и диспергации частиц. Все это может приводить к каким-то изменениям структуры, и далее – к консолидации частиц песка при размораживании [3, 4]. Для остальных образцов превышение не составило больше 15 %. А для суглинка моренного (образец № 1) и для глины с влагосодержанием 0,22 кг/кг (образец № 6) предельное напряжение на сдвиг до промораживания оказалось выше, чем после.

Таким образом, эксперимент показал, что промораживание в целом слабо влияет на прочностные свойства исследованных пород. В то же время результаты свидетельствуют, что для разных грунтов абсолютные значения отличаются даже для грунтов одного типа из разных проб. Однако эти различия расположены в допустимом диапазоне запаса прочности, который используется в расчетах при применении технологии искусственного замораживания грунтов.

Список использованных источников

- Устройство для испытания на сдвиг мерзлых грунтов и льда : а. с. 1213129 СССР, МКИ Е 02 D 1/00, Г 01 N 3/24 / Г. П. Бровка, И. И. Романенко (СССР). – № 3769012/29-33 ; заявлено 13.07.84 ; опубл. 23.02.86 ; бюл. № 7 // Открытия. Изобретения. – 1986. – № 7. – С. 157.
- Бровка, Г. П. Приборы и методы исследования прочностно-деформационных характеристик горных пород при отрицательных температурах / Г. П. Бровка, И. И. Романенко, А. Г. Бровка // Горная механика. – Солигорск, 2009. – № 1. – С. 33–40.
- Грунтоведение / В. Т. Трофимов [и др.] ; под ред. В. Т. Трофимова. – 6-е изд. – М. : Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.
- Основы геокриологии / под ред. Э. Д. Ершова. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – Ч. 1 : Физико-химические основы геокриологии. – 368 с.

References

- Brovka G. P., Romanenko I. I. *Ustrojstvo dlya ispytaniya na sdvig merzlyh gruntov i l'da* [Device for test on frozen soils and ice shift]. Patent USSR, no. 3769012/29-33, 1986 (in Russian).
- Brovka G. P., Romanenko I. I., Brovka A. G. *Pribory i metody issledovaniya prochnostno-deformacionnyh harakteristik gornyh porod pri otricatel'nyh temperaturah* [Devices and methods for studying on the strength and deformation characteristics of rocks at low temperatures]. *Mining mechanics*. Salihorsk, 2009, no 1, pp. 33–40 (in Russian).
- Trofimov V. T. [i dr.]. *Gruntovedenie* [Soil science]. Under ed. of V. T. Trofimov. Moscow, MSU Publ., 2005, 1024 p. (in Russian).

4. *Osnovy geokriologii* [Fundamentals of geocryology]. Under ed. of E. D. Ershov. Moscow, MSU publ., 1995. Part. 1 : Physical and chemical fundamentals od geocryology, 368 p. (in Russian).

Информация об авторах

Бровка Андрей Геннадьевич – науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь)

Дедюля Иван Владимирович – канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: dedyulyaivan@yandex.by

Information about the authors

Brovka Andrei Grennadjevich – Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (F. Skoriny str., 10, 220114, Minsk, Belarus)

Dziadziulia Ivan Vladimirovich – Ph.D (Tecnics), Assistant Professor, Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (F. Skoriny str., 10, 220114, Minsk, Belarus). E-mail: dedyulyaivan@yandex.by

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

УДК 552.577

Поступила в редакцию 14.03.2019
Received 14.03.2019

**СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ВЕРХОВОГО ТОРФА
ПРИБЕЛОМОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ (РОССИЯ)**

**С. Б. Селянина¹, А. С. Орлов¹, Т. И. Пономарева¹, М. В. Труфанова¹, О. Н. Ярыгина¹,
 Т. В. Соколова², Н. Е. Сосновская², В. С. Пехтерева²**

¹*ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика Н. П. Лаверова РАН, Архангельск, Россия;*

²*ГНУ Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь*

Аннотация. В статье на примере верхового торфа Прибеломорской провинции рассмотрены вопросы, посвященные особенностям его структуры и сорбционных свойств, что важно для решения многих экологических задач. В частности, одной из таких задач является создание высокоеффективных торфяных нефтесорбентов для ликвидации последствий добычи и транспортировки нефти и продуктов ее переработки. С позиции современных представлений о торфе как о гетеропористой системе, изучено влияние степени разложения и щелочной обработки на структуру и сорбционные свойства торфа. Показано, что рост степени разложения сопровождается разрушением и уплотнением капиллярно-пористой структуры торфа, что, в свою очередь, способствует снижению нефтепоглощающей способности, которая обусловлена преимущественно эффектом физической сорбции. Поэтому для создания нефтесорбентов может быть рекомендовано использование верхового торфа мохового типа из верхних горизонтов со степенью разложения не более 10–15 %. Установлено, что щелочная обработка в 2 раза увеличивает нефтеемкость торфа к средним фракциям нефти, что связано, по-видимому, с освобождением дополнительных пор в процессе удаления компонентов гуминовой природы.

Ключевые слова: верховой торф; структура торфа; степень разложения; щелочная обработка; сорбционные свойства; нефтеемкость.

Для цитирования. Селянина С. Б., Орлов А. С., Пономарева Т. И., Труфанова М. В., Ярыгина О. Н., Соколова Т. В., Сосновская Н. Е., Пехтерева В. С. Сорбционные свойства верхового торфа Прибеломорской провинции (Россия) // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 211–218.

**SORPTION PROPERTIES OF PEAT
OF THE PRIBELOMORSK PROVINCE (RUSSIA)**

**S. B. Selyanin¹, A. S. Orlov¹, T. I. Ponomareva¹, M. V. Trufanova¹, O. N. Yarygina¹,
 T. V. Sokolova², N. E. Sosnovskaya², V. S. Pekhtereva²**

¹*N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research Russian Academy of Science,
Arkhangelsk, Russia;*

²*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

Abstract. In the article, on the example of raised peat of the Pribelomorsk province, questions were considered on the peculiarities of its structure and sorption properties, which is important for solving many environmental problems. In particular, one of such tasks is the creation of highly efficient peat oil sorbents for eliminating the consequences of the extraction and transportation of oil and its products. From the standpoint of modern ideas about peat as a heteroporous system, the influence of the degree of decomposition and alkaline treatment on the structure and sorption properties of peat has been studied. It is shown that an increase in the degree of decomposition is accompanied by the destruction and compaction of the capillary-porous structure of peat, which in turn helps to reduce the oil absorption capacity, which is mainly due to the effect of physical sorption. Therefore, to create oil sorbents, the use of moss peat from the upper horizons with a degree of decomposition of no more than 10–15 % can be recommended. It has been established that alkaline treatment increases the oil capacity of peat to the middle fractions of oil by 2 times, which is connected, apparently, with the release of additional pores in the process of removing components of humic nature.

Key words: raised peat; peat structure; degree of decomposition; alkaline treatment; sorption properties; oil capacity.

For citation. Selyanina S. B., Orlov A. S., Ponomareva T. I., Trufanova M. V., Yarygina O. N., Sokolova T. V., Sosnovskaya N. E., Pekhtereva V. S. Sorption properties of peat of the Pribelomorsk province (Russia). *Nature Management*. 2019, no 1, pp. 211–218.

Введение. Северные территории России характеризуются высокой степенью заболоченности. Вместе с тем, здесь сосредоточены месторождения полезных ископаемых, в частности, нефти и газа. Добыча, транспортировка и переработка нефти сопровождаются неизбежным риском разливов и утечек. Поэтому нефть и нефтепродукты являются распространенными загрязнителями окружающей среды Арктической зоны. Наиболее эффективный и доступный метод очистки экосферы – применение различных сорбентов [1–3]. В последнее время широкое применение в промышленности находят сорбенты на основе природных и синтетических материалов [4–7]. Особенно привлекательно в рамках концепции ресурсосбережения и рационального природопользования создание сорбентов на основе возобновляемого сырья из местных источников.

С этих позиций в Архангельской области одним из наиболее перспективных видов сырья для получения сорбционных материалов, включая нефтесорбенты, представляется верховой торф. Торф, являясь продуктом природного происхождения, не дает экологической нагрузки на окружающую среду. Данный факт имеет особое значение в условиях низкой устойчивости приарктических биогеоценозов к антропогенному воздействию и слабой способности к самовосстановлению [8].

Как уже было показано ранее [9, 10], наличие особых геоклиматических условий на Европейском Севере России способствует формированию верхового торфа низкой степени разложения. Он обладает рыхлой ячеистой и высокопористой структурой, что позволяет ожидать высоких сорбционных свойств к тем загрязнителям, связывание которых протекает за счет физической адсорбции, и рассматривать его не только как сырье для производства сорбционных материалов, но и как геосорбент в составе торфяных залежей. Данные вопросы представлены в работах исследователей лишь на примере торфа южных территорий [3, 11–13], а для Северо-Арктического региона такие исследования и вовсе носят единичный характер.

Цель исследования – изучить сорбционные свойства и структуру верхового торфа Европейского Севера России на примере торфа Прибеломорской провинции.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования использовали серию образцов верхового торфа мохового типа, отобранных согласно работе [14] с различных глубин залегания (0–5, 5–20, 25–75, 75–125 и 165–215 см) на территории грядово-мочажинного комплекса Иласского болотного массива, расположенного в Приморском районе Архангельской области ($64^{\circ}19'43''$ N, $40^{\circ}36'45''$ E). Данный массив является характерным для северных территорий Российской Федерации [15]. Торфяная залежь данного массива отличается высокой однородностью по ботаническому составу. Характеристические горизонты выделяли на основании данных о степени разложения, полученных в полевых условиях на вертикальном профиле залежи макроскопическим методом [16].

В лабораторных условиях полученные данные о степени разложения подтверждали методом световой микроскопии, согласно работе [17]. Исследование структурной организации торфа на микроровнне проводили в ненарушенном состоянии и при естественной влажности с помощью лабораторного микроскопа Axio Scope A1 (Zeiss) в комплекте с цифровой камерой Canon G10 по методике, подробно описанной в работе [8].

Для лабораторных исследований образцы торфа готовили согласно работе [18]. Влажность образцов определяли по методике, описанной в работе [19]. Зольность образцов определяли согласно [20]. Групповой химический состав образцов торфа определяли с использованием аттестованной авторской методики [21]. Насыпную плотность торфа определяли в воздушно-сухом состоянии по работе [22]. Оценку водопоглощения и нефтеемкости верхового торфа проводили весовым методом [3]. Основные характеристики исследуемых образцов приведены в таблице.

Для оценки влияния щелочной обработки (модификации) на структуру и сорбционные свойства торфа был выбран интегральный образец торфа (5–75 см). Это объясняется спецификой промышленной переработки торфа, когда верхний живой слой снимают и используют в последующем для рекультивации [23]. Интегральный образец обрабатывали 0,1 н. NaOH с гидромодулем 1 : 75 в течение 24 ч. Торф после обработки промывали дистиллированной водой до практически полного обесцвечивания промывных вод и высушивали до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре. Оценку структуры и нефтеемкости полученного образца проводили аналогичным образом, как и для исходных образцов торфа.

Результаты и их обсуждение. Согласно данным о групповом химическом составе торфа, представленным в таблице, для торфогенного слоя исследуемой залежи характерен фульватный тип гумусообразования. Снижение зольности торфа при движении от поверхности в глубь залежи свидетельствует об атмосферном питании, что в целом типично для болот верхового типа.

Характеристика образцов верхового торфа

Characteristics of raised peat samples

Показатель	Образец				
	1	2	3	4	5
Глубина, см	0–5	5–20	25–75	75–125	165–215
Влажность, Wa, %	10,93	10,44	10,50	10,47	10,20
Зольность, Ac, %	3,15±0,02	3,41±0,11	2,32±0,03	1,01±0,01	1,04±0,01
Степень разложения, R, %: – в полевых условиях – уточненная	0–5 0	5–10 7	10–15 12	15–20 15	20–25 25
Насыпная плотность, г/см ³	0,075± ±0,009	0,065± ±0,011	0,090± ±0,012	0,107± ±0,011	0,224± ±0,024
Водопоглощение, г/г	11,54	10,62	7,35	5,58	4,43
Битумы, %	0,94±0,01	2,38±0,03	1,49±0,01	2,19±0,08	2,74±0,04
Гуминовые вещества (ГВ), %	19,65±0,29	20,20±0,21	13,74±0,44	15,85±0,23	22,28±0,22
Гуминовые кислоты (ГК), %	9,32±0,10	13,27±0,76	12,55±0,26	12,86±0,17	17,99±0,55
Фульвовые кислоты (ФК), %	10,33±0,12	6,93±0,11	1,19±0,03	2,99±0,07	4,29±0,09
Легкогидролизуемые вещества (ЛГВ), %	49,69±1,67	44,07±0,49	54,90±0,41	47,77±1,08	45,05±0,04
Трудногидролизуемые вещества (ТГВ), %	11,50±1,65	11,27±0,82	14,53±0,90	10,07±1,41	12,84±0,11
Лигнин Классона (ЛК), %	18,22±1,43	22,08±0,82	15,34±0,91	24,12±1,39	17,09±0,12

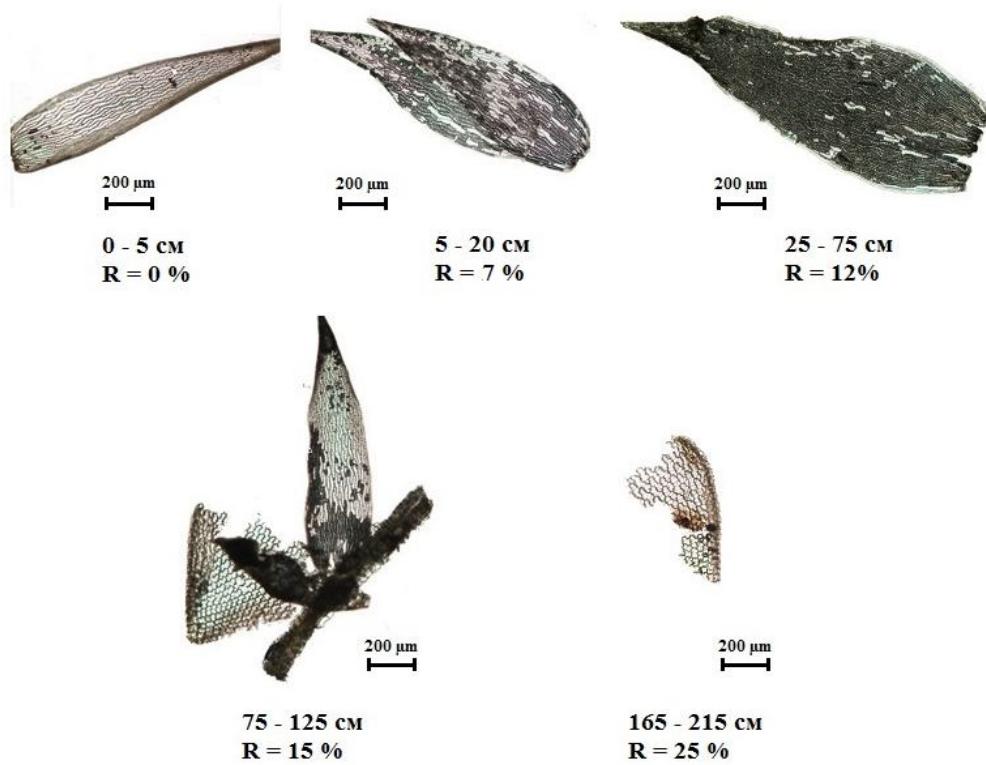


Рис. 1. Влияние глубины залегания на структуру и степень разложения растительных остатков верхового торфа

Fig. 1. The effect of depth on the structure and degree decomposition of plant residues of peat

Степень разложения изученных образцов торфа находится в интервале от 0 до 25 % и возрастает с глубиной залегания, что сопровождается увеличением содержания ГК. Это подтверждается микроскопическими исследованиями, результаты которых представлены на рис. 1. В верхних горизонтах залежи (до 75 см) степень разложения не превышает 15 % и сохраняется клеточное строение растительных остатков. В горизонтах, лежащих ниже 75 см, уже отчетливо прослеживается значительное разрушение клеточных структур исходных растительных тканей в ходе гумификации и накопление аморфной массы продуктов трансформации их органической части, сопровождающееся уплотнением и увеличением насыпной плотности торфа, а также снижением водопоглощения (см. таблицу). Вместе с тем верховой торф мохового типа имеет достаточно однородную структуру, что согласуется с данными других исследователей [24]. Это обусловлено однородностью ботанического состава, а также тем, что особенности функционирования сфагновых мхов резко ограничивают процессы разложения органических остатков, способствуя сохранению достаточно крупных неразложившихся фрагментов. Такой торф обладает структурой от губчатой с мелковолокнистым сложением коротких веточек мха до слоистой. При этом листочки мхов накладываются друг на друга и поры клеток соприкасаются [16, 24]. В результате образуется капиллярная система, которая характеризуется высокими показателями пористости и сорбционной емкости.

Структурные изменения торфа, о которых было сказано выше, позволяют ожидать изменения сорбционных свойств при движении от поверхности в глубь залежи. Приведенные на рис. 2 в графическом виде экспериментальные данные наглядно демонстрируют, что максимальной нефтеемкостью (порядка 10 г/г) обладает образец, отобранный с верхнего слоя торфяной залежи, представленный неразложившимися сфагновыми мхами. Для образцов, отобранных с более разложившихся и уплотненных слоев торфяной залежи, характерно снижение нефтеемкости с 8,5 до 4,0 г/г. Это согласуется с постепенным разрушением капиллярно-пористой структуры торфа.

Выявленная зависимость уменьшения сорбционной способности с увеличением степени разложения торфа позволяет предполагать, что за счет удаления отдельных компонентов органического вещества возможно увеличение пористости, которая приведет к росту нефтеемкости. При этом следует учитывать, что на сорбционные свойства торфа наряду с капиллярно-пористой структурой может оказывать влияние групповой состав, а также химическая природа его компонентов [13, 25]. На примере различных видов торфа Беларуси показано, что удаление отдельных групп органического вещества (битумов, ГВ) может способствовать как увеличению, так и снижению сорбционных свойств. При этом особую роль играет, как последовательность извлечения компонентов, так и степень биодеградации растительных остатков [12].

Как видно из микрофотоснимков на рис. 3, обработка щелочью в мягких условиях способствует высвобождению дополнительных пор за счет удаления гуминовых веществ и части битумов, но при этом не оказывает существенного влияния на целостность клеточной структуры растительных остатков.

У исследованных образцов торфа это сопровождается увеличением сорбционной емкости (рис. 4) по отношению к нефтепродуктам.

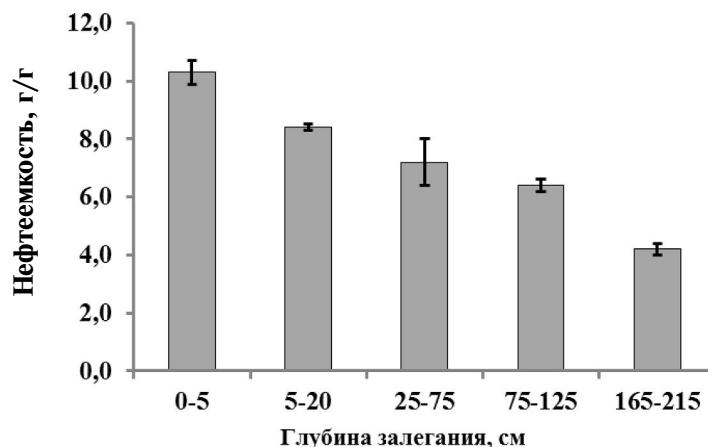


Рис. 2. Влияние глубины залегания на сорбционную емкость верхового торфа (по керосину)

Fig. 2. The effect of depth on the sorption capacity of raised peat (for kerosene)

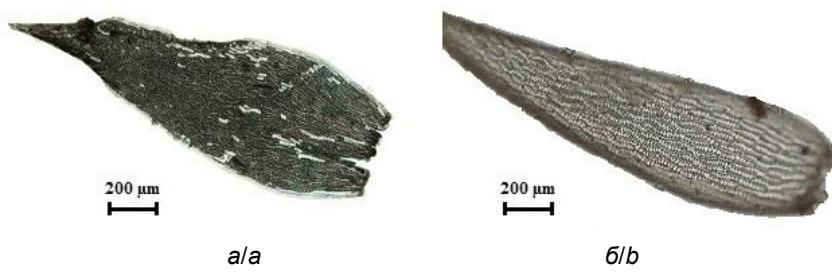


Рис. 3. Структура растительных остатков верхового торфа. Образец:
а – исходный; б – после щелочной обработки

Fig. 3. Structure of plant residues of peat. Sample: a – the original; b – after alkaline treatment

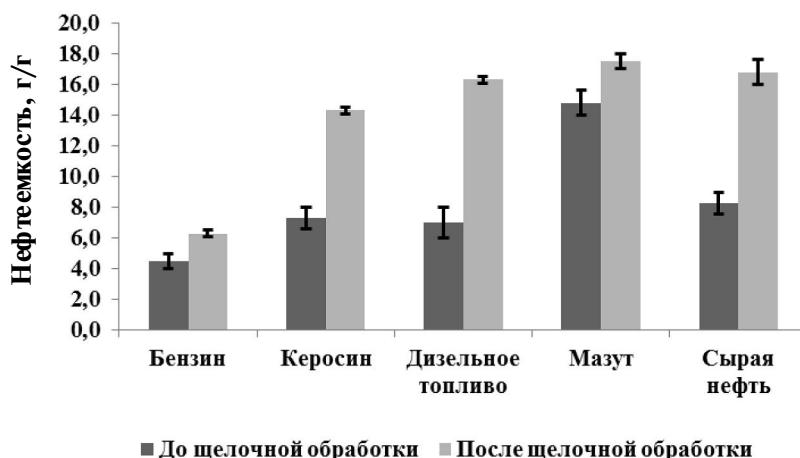


Рис. 4. Сорбционная емкость исходного и обработанного щелочью верхового торфа к различным фракциям нефтепродуктов

Fig. 4. The sorption capacity of original and alkali treated peat to various fractions of oil products

Эффективность сорбции торфом различных нефтепродуктов определяется не только физико-химической природой торфа, но и их свойствами. Для нефтепродуктов одним из важных параметров следует считать длину углеводородной цепи, которая оказывает влияние на их физико-химические свойства, что обуславливает подвижность молекул и степень стерических затруднений при их проникновении в поровое пространство торфа как при сорбции, так при десорбции. Из представленных на рис. 4 данных отчетливо видно, что увеличение сорбционной способности после щелочной обработки торфа наблюдается во всех исследованных случаях. При этом наиболее эффективно происходит связывание торфом средних и тяжелых малоподвижных фракций нефти, таких как керосин, дизельное топливо и мазут, менее эффективно связываются легкие и подвижные фракции, например бензин. Следует отметить, что сорбционная емкость испытуемого образца верхового торфа после щелочной обработки (по керосину) составила 14 г/г, что в 2,5 раза выше, чем у выпускаемых в промышленности сорбентов на основе торфа («Peat-Sorb» 5,5 г/г и «Сибсорбент» 5 г/г [6]).

Заключение. Таким образом, с позиции современных представлений о торфе как о гетеропористой системе, изучено влияние степени разложения и щелочной обработки на структуру и сорбционные свойства торфа Европейского Севера России. Установлено, что рост степени разложения сопровождается разрушением и уплотнением капиллярно-пористой структуры торфа, а это, свою очередь, способствует снижению нефтепоглощающей способности, которая обусловлена преимущественно эффектом физической сорбции. Поэтому для создания нефтесорбентов может быть рекомендовано использование верхового торфа мохового типа из верхних горизонтов со степенью разложения не более 10–15 %, что согласуется с результатами исследований, проведенными в Институте природопользования на образцах различных видов торфа Беларуси.

Несмотря на то, что верховой торф низкой степени разложения обладает высокой сорбционной емкостью даже без предварительной обработки, перспективным направлением может быть модификация его структуры и свойств. Показано, что щелочная обработка в 2 раза увеличивает нефтеемкость торфа к средним фракциям нефти, что связано, по-видимому, с освобождением дополнительных пор в ходе удаления компонентов гуминовой природы.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках темы № АААА-А18-118012390224-1 и проекта РФФИ № 18-05-70087.

Список использованных источников

1. Аренс, В. Ж. Эффективные сорбенты для ликвидации нефтяных разливов / В. Ж. Аренс, О. М. Гридин // Экология и промышленность России. – 1997. – № 3. – С. 8–11.
2. Novoselova, L. Yu. Peat-based sorbents for the purification of contaminated environments : a review / L. Yu. Novoselova, E. E. Sirotkina // Solid Fuel Chemistry. – 2008. – Т. 42, № 4. – С. 251–262.
3. Испириян, С. Р. Разработка методики комплексной оценки поглощения торфом нефтепродуктов / С. Р. Испириян : дис... канд. техн. наук. – Тверь, 2001. – 151 с.
4. Дубинин, М. М. Природные минеральные сорбенты / М. М. Дубинин. – М. : Наука. – 1988. – 224 с.
5. Perederii, M. A., Preparation of carbon sorbents from certain types of biomass / M. A. Perederii, Yu. A. Noskova // Solid Fuel Chemistry. – 2008. – Т. 42, № 4. – С. 219–224.
6. Веприкова, Е. В. Использование бересты коры березы для получения сорбционных материалов / Е. В. Веприкова, Е. А. Терещенко, Н. В. Чесноков [и др.] // Журнал Сибирского федерального университета // Химия. – 2012. – Т. 2, № 5. – С 178–188.
7. Дремичева, Е. С. Применение торфа с целью очистки сточных вод от нефтепродуктов / Е. С. Дремичева // Вода: химия и экология. – 2017. – № 11. – С. 61–66.
8. Орлов, А. С. Структура и сорбционные свойства верхового торфа приарктических территорий / А. С. Орлов, Т. И. Пономарева, С. Б. Селянина // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 1. – С. 18–22.
9. Parfenova, L. N. Influence of climatic and hydrological factors on structure and composition of peat from northern wetland territories with low anthropogenic impact / L. N. Parfenova, S. B. Selyanina, M. V. Trufanova [и др.] // Science of the Total Environment. – 2016. – № 551–552. – Р. 108–115.
10. Томсон, А. Э. Сравнительный анализ органической части верхового торфа, сформированного в различных геоклиматических условиях / А. Э. Томсон, А. С. Орлов, С. Б. Селянина [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – 2018. – № 1. – С. 198–207.
11. Бурмистрова, Т. И., Алексеева, Т. П., Стахина, Л. Д. Исследование свойств торфа для решения экологических проблем / Т. И. Бурмистрова, Т. П. Алексеева, Л. Д. Стахина [и др.] // Химия растительного сырья. – 2009. – № 3. – С. 157–160.
12. Сосновская, Н. Е. Сорбционные материалы на основе торфа для удаления нефтяных загрязнений из природных объектов / Н. Е. Сосновская : дис...канд. техн. наук. – Минск, 2010. – 184 с.
13. Чухарева, Н. В. Сравнение сорбционных свойств торфа верхового и низинного типов по отношению к товарной нефти и стабильному газовому конденсату / Н. В. Чухарева, Л. В. Шишмина // Химия растительного сырья. – 2012. – № 4. – С. 193–200.
14. ГОСТ 17644-83. Торф. Методы отбора проб из залежи и обработки их для лабораторных испытаний. – Введ. 07.01.1984. – М. : Стандартинформ, 1984. – 40 с.
15. Юрковская, Т. К. География и картография растительности болот Европейской России и сопредельных территорий / Т. К. Юрковская. – СПб. : Ботанич. ин-т им. В. Л. Комарова, 1992. – 256 с.
16. Лиштван, И. И. Физика и химия торфа / И. И. Лиштван, Е. Т. Базин, Н. И. Гамаюнов [и др.]. – М. : Недра, 1989. – 304 с.
17. ГОСТ 10650-2013. Торф. Методы определения степени разложения. Технические условия. – Введ. 01.01.2015. – М. : Стандартинформ, 2014. – 14 с.
18. ГОСТ 11303-2013. Торф и продукты его переработки. Метод приготовления аналитических проб. – Введ. 01.01.2015. – М. : Стандартинформ, 2014. – 8 с.
19. ГОСТ 11305-2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения влаги. – Введ. 01.01.2015. – М. : Стандартинформ, 2014. – 14 с.
20. ГОСТ 11306-2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. – Введ. 01.01.2015. – М. : Стандартинформ, 2014. – 11 с.
21. Методика измерений группового химического состава торфа гравиметрическим методом № 88-16365-009-2017 / С. Б. Селянина, Т. И. Пономарева, А. С. Орлов, О. Н. Ярыгина, М. В. Труфанова. – Свид-во об аттест. выдано 06.12.2017. Номер госрегистрации «ФР.1.31.2018.29621».
22. ГОСТ 13673-2013. Торф фрезерный. Метод определения насыпной плотности. – Введ. 01.01.2015. – М. : Стандартинформ, 2014. – 8 с.
23. Косов, В. И. Торф (ресурсы, технологии, геэкология) / В. И. Косов, А. С. Беляков, О. В. Белозеров [и др.]. – СПб., 2007. – 452 с.
24. Тюремнов, С. Н. Торфяные месторождения / С. Н. Тюремнов. –3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – 488 с.
25. Гамаюнов, Н. И. Сорбция в гидрофильтральных материалах / Н. И. Гамаюнов, С. Н. Гамаюнов. – Тверь, 1997. – 160 с.

References

1. Arens V. Zh., Gridin O. M. *Effektivnye sorbenty dlya likvidacii neftyanyh razlivov* [Effective sorbents for oil spill response]. *Ehkologiya i promyshlennost' Rossii = Ecology and Industry of Russia*, 1997, no 3, pp. 8–11 (in Russian).
2. Novoselova L. Yu., Sirotnina E. E. Peat-based sorbents for the purification of contaminated environments. A review. *Solid Fuel Chemistry*, 2008, vol. 42, no 4, pp. 251–262.
3. Ispiryan S. R. *Razrabotka metodiki kompleksnoj ocenki pogloshcheniya torfom neftemasloproduktov. Dis. kand. tekhn. nauk* [Development of methods for the integrated assessment of the absorption of peat oil and oil products. Cand. tech. sci. diss.]. Tver, 2001, 151 p. (in Russian).
4. Dubinin M. M. *Prirodnye mineral'nye sorbenty* [Natural mineral sorbents]. Moscow, Science Publ., 1988, 224 p. (in Russian).
5. Perederii M. A., Noskova Yu. A. Preparation of carbon sorbents from certain types of biomass. *Solid Fuel Chemistry*, 2008, vol. 42, no 4, pp. 219–224.
6. Veprikova E. V., Tereshchenko E. A., Cheskakov N. V., Kuznecov B. N. *Ispol'zovanie beresty kory berezy dlya poluchenija sorbionnyh materialov* [The use of birch bark for sorption materials]. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Khimiya = Journal of Siberian Federal University. Chemistry*, 2012, vol. 2, no 5, pp. 178–188 (in Russian).
7. Дремичева Е.С. *Primeneniye torfa s tselyu ochistki stochnykh vod ot nefteproduktov* [The Use of peat for the purpose of cleaning sewage from petroleum products]. *Voda: khimiya i ekologiya = Voda: khimiya i ekologiya*, 2017, no 11, pp. 61–66 (in Russian).
8. Orlov A. S., Ponomareva T. I., Selyanina S. B., Trufanova M. V., Parfenova L. N. *Struktura i sorbionnye svojstva verhovogo torfa priarkticheskikh territorij* [The structure and sorption properties of peat in the Arctic territories]. *Uspekhi sovremennoj estestvoznaniya = Successes of modern science*, 2017, no 1, pp. 18–22 (in Russian).
9. Parfenova L. N., Selyanina S. B., Trufanova M. V., Bogolitsyn K. G., Orlov, A. S., Volkova N. N., Ponomareva T. I., Sokolova T. V. Influence of climatic and hydrological factors on structure and composition of peat from northern wetland territories with low anthropogenic impact. *Science of the Total Environment*, 2016, no 551–552, pp. 108–115 (in Russian).
10. Tomson A. EH., Orlov A. S., Selyanina S. B., Striguckij V. P., Sokolova T. V., Pekhtereva V. S., Sosnovskaya N. E., Trufanova M. V., Ponomareva T. I., Yarygina O. N., Zubov I. N. *Sravnitel'nyj analiz organicheskoy chasti verhovogo torfa, sformirovannogo v razlichnyh geoklimaticeskikh usloviyah* [A comparative analysis of the organic part of peat, formed in different geo-climatic conditions]. *Nature Management*, 2018, no 1, pp. 198–207 (in Russian).
11. Burmistrova T. I., Alekseeva T. P., Stahina L. D., Seredina V. P. *Issledovanie svojstv torfa dlya resheniya ehkologicheskikh problem* [Study of properties of peat for the decision of ecological problems]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant materials*, 2009, no 3, pp. 157–160 (in Russian).
12. Sosnovskaya N. E. *Sorbionnye materialy na osnove torfa dlya udaleniya neftyanyh zagryaznenij iz prirodnih ob'ektov. Dis. kand. tekhn. nauk* [Sorption materials on the basis of peat for removal of oil pollution from natural objects. Cand. tech. sci. diss.]. Minsk, 2010, 184 p. (in Russian).
13. Chuhareva N. V., Shishmina L. V. *Sravnenie sorbionnyh svojstv torfa verhovogo i nizinnogo tipov po otnosheniyu k tovarnoj nefti i stabil'nomu gazovomu kondensatu* [Comparison of the sorption properties of the peat and lowland types in relation to the commercial oil and stable gas condensate]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant materials*, 2012, no 4, pp. 193–200 (in Russian).
14. GOST 17644-83. *Torf. Metody otbora prob iz zalezhi i obrabotki ih dlya laboratornyh ispytanij* [State Standart 17644-83. Methods of sampling from the Deposit and processing them for laboratory tests]. Vved. 1984-07-01. Moscow, Standartinform Publ., 1984, 40 p. (in Russian).
15. Yurkovskaya T. K. *Geografiya i kartografiya rastitel'nosti bolot Evropejskoj Rossii i sopredel'nyh territorij* [Geography and cartography of vegetation of bogs of European Russia and adjacent territories]. St. Petersburg, Botanical Institute. V. L. Komarova, 1992, 256 p. (in Russian).
16. Lishtvan I. I., Bazin E. T., Gamayunov N. I., Terent'ev A. A. *Fizika i himiya torfa* [Physics and chemistry of peat]. Moscow, Nedra Publ., 1989, 304 p. (in Russian).
17. GOST 10650-2013. *Torf. Metody opredeleniya stepeni razlozheniya. Tekhnicheskie usloviya*. Vved. 2015-01-01 [State Standart 10650-2013. Peat. Methods for determining the degree of decomposition. Technical conditions]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 14 p. (in Russian).
18. GOST 11303-2013. *Torf i produkty ego pererabotki. Metod prigotovleniya analiticheskikh prob*. Vved. 2015-01-01 [State Standart 11303-2013. Peat and products of its processing. Method of preparation of analytical samples]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 8 p. (in Russian).
19. GOST 11305-2013. *Torf i produkty ego pererabotki. Metody opredeleniya vlagi*. Vved. 2015-01-01. [State Standart 11305-2013. Peat and products of its processing. Methods for determining moisture]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 14 p. (in Russian).
20. GOST 11306-2013. *Torf i produkty ego pererabotki. Metody opredeleniya zol'nosti*. Vved. 2015-01-01 [State Standart 11306-2013. Peat and products of its processing. Methods for the determination of ash content]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 11 p. (in Russian).
21. Selyanina S. B., Ponomareva T. I., Orlov A. S., Yarygina O. N., Trufanova M. V. *Metodika izmerenij gruppovogo himicheskogo sostava torfa gravimetriceskim metodom № 88-16365-009-2017* [The method of measurement of the group chemical composition of peat by the gravimetric method No. 88-16365-009-2017]. Svid. ob attest. vydano 06.12.2017. Nomer gosregistracii «FR.1.31.2018.29621» [Testimony of the certificate issued 06/12/2017. State registration number "FR.1.31.2018.29621"] (in Russian).

22. GOST 13673-2013. *Torf frezernyj. Metod opredeleniya nasypnoj plotnosti. Vved. 2015-01-01* [State Standard GOST 13673-2013. Peat milling. Method for determination of bulk density]. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 8 p. (in Russian).
23. Kosov V. I., Belyakov A. S., Belozerov O. V., Gogin D. Yu. *Torf (resursy, tekhnologii, geoekologiya)* [Peat (resources, technologies, geo-ecology)]. St. Petersburg, 2007, 452 p. (in Russian).
24. Tyuremnov S. N. *Torfyanye mestorozhdeniya* [Peat deposits]. Moscow, Nedra Publ., 1976, 488 p. (in Russian).
25. Gamayunov N. I., Gamayunov S. N. *Sorbciya v gidrofil'nyh materialah* [Sorption in hydrophilic materials]. Tver, 1997, 160 p. (in Russian).

Информация об авторах

Селянина Светлана Борисовна – канд. техн. наук, доцент, зав. лабораторией экоболотных систем, ст. науч. сотр., ФБГУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. В. П. Лаверова РАН (Набережная Северной Двины, д. 23, 163000, г. Архангельск, Российская Федерация). E-mail: smssb@yandex.ru

Орлов Александр Сергеевич – мл. науч. сотр., ФБГУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. В. П. Лаверова РАН (Набережная Северной Двины, д. 23, 163000, г. Архангельск, Российская Федерация). E-mail: alseror@yandex.ru

Пономарева Тамара Игоревна – мл. науч. сотр., ФБГУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. В. П. Лаверова РАН (Набережная Северной Двины, д. 23, 163000, г. Архангельск, Российская Федерация). E-mail: ponotamara@gmail.com

Труфанова Марина Витальевна – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник, ФБГУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. В. П. Лаверова РАН (Набережная Северной Двины, д. 23, 163000, г. Архангельск, Российская Федерация). E-mail: mtrufanova@yandex.ru

Ярыгина Ольга Николаевна – мл. науч. сотр., ФБГУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. акад. В. П. Лаверова РАН (Набережная Северной Двины, д. 23, 163000, г. Архангельск, Российская Федерация). E-mail: olga.yarigina@gmail.com

Соколова Тамара Владимировна – канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, д.10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: tomsok49@tyt.by

Сосновская Наталья Евгеньевна – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, д.10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: natalisosnov@mail.ru

Пехтерева Виктория Станиславовна – науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, д. 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: pehvik@jandex.ru

Information about the authors

Svetlana B. Selyanina – Ph.D. (Technical), Assistant Professor, Head of Wetland Ecosystems Laboratory, Senior Researcher, N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research Russian Academy of Science (FCIArctic RAS) (23, Severnoi Dviny Emb., 163000, Arkhangelsk, Russia). E-mail: smssb@yandex.ru

Alexander S. Orlov – Junior Researcher, N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research Russian Academy of Science (FCIArctic RAS) (23, Severnoi Dviny Emb., 163000, Arkhangelsk, Russia). E-mail: alseror@yandex.ru

Tamara I. Ponomareva – Junior Researcher, N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research Russian Academy of Science (FCIArctic RAS) (23, Severnoi Dviny Emb., 163000, Arkhangelsk, Russia). E-mail: ponotamara@gmail.com

Marina V. Trufanova – Ph.D. (Chemistry), N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research Russian Academy of Science (FCIArctic RAS) (23, Severnoi Dviny Emb., 163000, Arkhangelsk, Russia). E-mail: mtrufanova@yandex.ru

Olga N. Yarygina – Junior Researcher, N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research Russian Academy of Science (FCIArctic RAS) (23, Severnoi Dviny Emb., 163000, Arkhangelsk, Russia). E-mail: olga.yarigina@gmail.com

Tamara V. Sokolova – Ph.D. (Technical), Assistant Professor, Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: tomsok49@tyt.by

Nataliya E. Sosnovskaya – Ph.D. (Technical), Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: natalisosnov@mail.ru

Victoriya S. Pehtereva – Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: pehvik@jandex.ru

ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ВЫДЕЛЕНИЯ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ ТОРФА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЖИДКИХ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТНЫХ УДОБРЕНИЙ

С. И. Коврик, С. А. Кушнерова, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье приводятся данные по изменению значений pH, коэффициента пропускания и устойчивости жидких концентрированных микроэлементных удобрений, в состав которых входят гуминовые вещества торфа. Выполнена сравнительная оценка двух способов щелочной экстракции гуминовых веществ из торфа. Показано, что гуминовые вещества лучше выделять из низинного торфа путем щелочной экстракции при температуре 96–98 °C в течение 2 часов.

Ключевые слова: микроэлементные гуминовые удобрения; гуминовые вещества; устойчивость растворов; значение pH; коэффициент пропускания.

Для цитирования. Коврик С. И., Кушнерова С. А., Бамбалов Н. Н., Соколов Г. А. Обоснование способа выделения гуминовых веществ из торфа для получения жидких концентрированных микроэлементных удобрений // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 219–224.

SUBSTANTIATION OF SELECTION METHOD OF HUMIC SUBSTANCES FROM PEAT TO PRODUCE LIQUID CONCENTRATED MICROELEMENT FERTILIZER

S. I. Kovrik, S. A. Kushnerova, N. N. Bambalov, G. A. Sokolov

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

Abstract. The article presents data on changes in pH values, transmission coefficient and stability of liquid concentrated microelement fertilizers, which include humic substances of peat. A comparative assessment of the two methods of alkaline extraction of humic substances from peat was carried out. It is shown that humic substances are better isolated from lowland peat by alkaline extraction at a temperature of 96–98 °C for 2 hours.

Key words: microelement humic fertilizers; humic substances; solution stability; pH value; transmittance.

For citation. Kovrik S. I., Kushnerova S. A., Bambalov N. N., Sokolov G. A. Substantiation of selection method of humic substances from peat to produce liquid concentrated microelement fertilizer. *Nature Management*. 2019, no 1, pp. 219–224.

Введение. В современном сельском хозяйстве для повышения урожайности растений используют микроэлементные удобрения. В последнее время перспективными считаются органоминеральные микроудобрения, содержащие медь, цинк, марганец, железо и бор в хелатной форме и гуматы калия, аммония или натрия [1, 2].

В ГНУ «Институт природопользования НАН Беларусь» разработаны жидкие комплексные биологически активные гуминовые удобрения с одним и несколькими микроэлементами – «ЭлеГум» [3–6], а на ОАО «Зеленоборское» построен цех по их выпуску. Стоимость таких удобрений на 25–50 % ниже, а качество – лучше зарубежных микроэлементных удобрений; их расход составляет 1–2 дм³/га. При этом сокращаются расходы за счет совмещения операций по внесению микроэлементных удобрений и биологически активных веществ, дополнительным преимуществом является уменьшение воздействия сельскохозяйственной техники на почву и снижение ее износа.

Биологическая активность указанных микроэлементных удобрений достигается за счет введения гуминовых веществ (ГВ) или гуминовых кислот (ГК) торфа. Однако в связи с большим разнообразием способов выделения ГВ пока неясно, какой из них лучше использовать для получения удобрений. Поэтому цель данной работы – обоснование такого способа выделения ГВ (ГК) из торфа, при котором можно получить наиболее устойчивые жидкие концентрированные удобрения, содержащего биологически активные ГВ и микроэлементы медь и цинк в количествах, оптимальных для обработки растений. Концентрация микроэлементов и ГВ должна быть такой, чтобы в 1–2 дм³ содержалась не

только полная доза микроэлементов, необходимая для внесения на 1 га, но и обеспечивалось бы стимулирование роста и развития растений.

Объекты и методы исследования. Для получения медь- (Си–ГВ), цинк- (Zn–ГВ) и медь-цинк-гуминовых (Си–Zn–ГВ) удобрений использовали сульфаты меди и цинка, трилон Б, водный раствор аммиака и щелочной раствор ГВ или ГК.

ГВ и ГК выделяли из низинного тростниково-осокового торфа со степенью разложения (R) 35 % и зольностью (A^c) 11,3 % из месторождения Гало-Ковалевское и верхового сосново-пушицевого торфа ($R = 50\%$, $A^c = 3,3\%$) из месторождения Радемье. Экстракцию ГВ (ГК) проводили 2 %-ным раствором гидроксида натрия в «мягких» (М) условиях без нагревания или на водяной бане (Б) при температуре 96–98 °C в течение 1 часа при модуле 1 : 10. Концентрация ГВ в первом варианте составляла 18 г/дм³ для низинного торфа и 48 г/дм³ для верхового торфа, во втором варианте – 42 и 70 г/дм³ соответственно. Выбранные реагенты и режимы получения препаратов в лабораторных условиях соответствуют регентам и технологическим режимам получения гуминовых препаратов в производственных условиях. Более высокая концентрация ГВ, полученных из верхового торфа, связана с большей степенью его разложения.

Из полученных щелочных экстрактов выделяли ГК путем подкисления 10 %-ной соляной кислотой до pH 1,0. Осадки центрифугировали, вымораживали при –4...–5 °C, отмывали от избытка ионов хлора и сушили при температуре 50 °C.

Необходимым условием получения растворимых микроэлементных гуминовых удобрений является то, чтобы до введения щелочных растворов ГВ микроэлементы были связаны в хелатные соединения с трилоном Б и аммиаком [7–8]. Поэтому методика проведения эксперимента заключалась в растворении сульфатов меди (цинка или меди и цинка) в различных объемах раствора, содержащего трилон Б и аммиак. Для полного растворения солей раствор подогревали на водяной бане до температуры 40–50 °C. После растворения солей вводили необходимое количество щелочного раствора ГВ или ГК [7]. В конечном растворе концентрация микроэлементов составляла 45–50 г/дм³, а ГВ (ГК) – 2–4 г/дм³.

Приготовленные концентрированные растворы оставляли на 24 часа при температуре 18–22 °C, затем разбавляли водопроводной водой в 100 раз. Таким образом, в рабочих растворах общая концентрация катионов составляла 0,45–0,50 г/дм³, а ГВ – 0,02–0,04 г/дм³. Далее в течение дня наблюдали за состоянием рабочих растворов; если выпадал осадок, то фиксировали время его образования. Концентрированные растворы, в которых не образовывался осадок после разбавления, оставляли храниться в темном месте при температуре 18–22 °C. Периодически из оставленных концентрированных растворов отбирали аликовты для разбавления. Для приготовления концентрированных растворов и их разбавления использовали только водопроводную воду (pH 7,7–7,9).

Измерение коэффициента пропускания разбавленных растворов проводили на фотометре КФК-3, а значение pH – на pH-метре HI 2211. Об устойчивости растворов судили по наличию или отсутствию осадка. Если в концентрированном или в соответствующем разбавленном растворе образовывался осадок, такие растворы выбраковывали.

Результаты и их обсуждение. Экспериментально установлено (табл. 1), что концентрация катионов Cu²⁺ в удобрении может составлять 50 г/дм³, Zn²⁺ – 45 дм³, Cu²⁺+Zn²⁺ – по 25, ГВ – от 2 до 4 г/дм³. Более низкая концентрация катионов Zn²⁺ скорее всего связана с их амфотерными свойствами [9], поскольку раствор трилона Б с аммиаком, в котором растворяли сульфаты металлов, имел значение pH около 11,0.

Анализ табл. 1 свидетельствует о том, что разбавленные растворы, приготовленные с использованием ГВ верхового торфа, имеют относительно невысокие значения коэффициента пропускания (43–68). Значения коэффициента пропускания разбавленных растворов, приготовленных с использованием ГВ и ГК низинного торфа, достигают 70–90. Все удобрения, приготовленные на основе ГВ верхового торфа, имеют меньшие сроки хранения (до 1,0–1,5 мес.). Это обусловлено тем, что молекулы ГК верхового торфа имеют более высокую степень сопряжения по сравнению с ГК низинного торфа. Это связано с более высоким содержанием в ГК низинного торфа углеводных и полипептидных фрагментов, в результате чего при одинаковой концентрации ГК содержание негидролизуемой части для ГК низинного торфа ниже по сравнению с ГК верхового торфа. Это подтверждается данными о том, что содержание легкогидролизуемых веществ у ГК, извлеченных 2 %-ным раствором гидроксида натрия из низинного торфа, составляет 23,6 %, из верхового торфа – 13,6; извлеченных 2 %-ным раствором аммиака – 51,4 и 22,8 % соответственно. Удаление легкогидролизуемых веществ снижает величину порога коагуляции гуматов аммония низинного торфа с 46 до 16 мг-экв BaCl₂/дм³, гуматов аммония верхового торфа – с 18 до 10 мг-экв BaCl₂/дм³ [10, 11]. Также, согласно работе [12], электронные спектры поглощения остатков ГК различных видов торфа после удаления легкогидролизуемых соединений сближаются между собой.

Таблица 1. Изменение значения коэффициента пропускания ($\lambda = 490$ нм) Cu–ГВ, Zn–ГВ и Cu–Zn–ГВ разбавленных растворов при хранении**Table 1. Change of transmittance values ($\lambda = 490$ nm) of copper–humic, zinc–humic and copper–zinc–humic diluted solutions during storage**

Металл (г/дм ³)	Способ выделения	Концентрация трилона Б	Концентрация ГВ, г/дм ³	Дни						
				5	10	20	40	80	90	200
<i>ГВ верхового торфа</i>										
Cu(25)+Zn(25)	М	30	2	55	54	54	54	*	*	*
	Б	30	2	60	58	58	59	*	*	*
	Б	30	4	38	34	34	34	*	*	*
	Б	35	2	66	62	65	68	*	*	*
	Б	35	4	43	40	45	48	21	*	*
Zn(45)	М	30	2	60	60	58	56	*	*	*
	М	35	2	61	60	59	58	*	*	*
	Б	30	2	61	59	58	55	*	*	*
Cu(50)	М	30	2	54	52	52	51	*	*	*
	М	35	2	60	55	56	57	*	*	*
	Б	30	2	55	53	51	50	*	*	*
<i>ГВ низинного торфа</i>										
Cu(25)+Zn(25)	М	30	2	86	85	84	84	83	82	81
	Б	30	2	87	87	87	85	83	84	82
	Б	30	4	75	77	75	69	59	73	64
	Б	35	2	88	89	89	90	87	85	*
	Б	35	4	79	80	81	82	75	72	63
Zn(45)	М	30	2	80	80	71	79	70	69	73
	М	35	2	80	79	77	79	76	73	*
	Б	30	2	81	80	81	80	79	74	72
Cu(50)	М	30	2	75	74	68	58	53	*	*
	М	35	2	78	78	76	77	75	70	*
<i>ГК низинного торфа</i>										
Cu(25)+Zn(25)	Б	30	2	77	77	78	78	77	77	77
	Б	35	2	77	80	80	80	79	79	79
	М	35	2	75	75	74	73	72	72	72
Zn(45)	М	30	2	81	80	80	80	78	78	79
	М	35	2	77	76	74	75	76	74	72
	Б	30	2	83	81	80	79	79	79	79
Cu(50)	М	30	2	76	70	75	71	70	70	50
	М	35	2	75	75	75	72	73	72	74
	Б	30	2	78	72	74	72	72	71	70

*Образование осадка.

Следует также отметить, что способ выделения ГВ из торфа в условиях Б или М не оказывает заметного влияния на значение коэффициента пропускания и устойчивость концентрированных микроэлементных удобрений. Однако, поскольку при проведении экстракции при нагревании на водяной бане (способ Б) выход ГВ почти в 2,5 раза выше, чем при проведении экстракции в «мягких» условиях (способ М) без нагревания, то извлечение ГВ при температуре 96–98 °С является более предпочтительным.

Не установлено заметной разницы в физико-химических свойствах и устойчивости жидких концентрированных микроэлементных удобрениях, полученных с использованием как ГВ, так и щелочных растворов соответствующих концентраций ГК (табл. 1, 2). Выделение и наработка ГК являются трудоемким процессом, поэтому использование ГВ, а не ГК для получения жидких концентрированных микроэлементных удобрений является также оправданным.

Таблица 2. Изменение значения pH Cu–ГВ, Zn–ГВ и Cu–Zn–ГВ разбавленных растворов при хранении**Table 2. Change of pH values of copper–humic, zinc–humic and copper–zinc–humic diluted solutions during storage**

Металл (г/дм ³)	Способ выделения	Концентрация трилона Б	Концентрация ГВ, г/дм ³	Дни						
				5	10	20	40	80	90	200
<i>ГВ верхового торфа</i>										
Cu(25)+Zn(25)	М	30	2	12,0	11,9	12,0	12,0	*	*	*
	Б	30	2	12,0	12,0	12,0	12,0	*	*	*
	Б	30	4	11,9	11,9	11,8	11,9	*	*	*
	Б	35	2	11,8	11,8	11,7	11,7	*	*	*
	Б	35	4	11,7	11,7	11,7	11,7	11,6	*	*
Zn(45)	М	30	2	11,9	11,9	11,8	11,8	*	*	*
	М	35	2	11,9	11,8	11,8	11,8	*	*	*
	Б	30	2	11,9	11,8	12,0	11,8	*	*	*
Cu(50)	М	30	2	12,0	11,9	12,0	12,0	*	*	*
	М	35	2	11,9	11,9	12,0	11,9	*	*	*
	Б	30	2	11,8	11,8	11,8	11,8	*	*	*
<i>ГВ низинного торфа</i>										
Cu(25)+Zn(25)	М	30	2	11,1	11,1	11,5	11,3	11,4	11,8	11,9
	Б	30	2	11,0	11,1	11,1	11,1	11,1	11,2	11,2
	Б	30	4	11,1	11,2	11,6	11,4	11,5	12,0	12,0
	Б	35	2	11,0	11,1	11,2	11,3	11,4	12,0	*
	Б	35	4	11,2	11,1	11,2	11,2	11,8	12,0	12,0
Zn(45)	М	30	2	11,3	11,4	11,3	11,5	11,9	11,9	12,0
	М	35	2	11,2	11,2	11,3	11,2	11,4	11,3	*
	Б	30	2	11,2	11,2	11,2	11,4	11,3	11,3	11,8
Cu(50)	М	30	2	11,3	11,3	11,5	11,4	11,9	*	*
	М	35	2	11,3	11,5	11,4	11,4	11,9	12,0	*
<i>ГК низинного торфа</i>										
Cu(25)+Zn(25)	Б	30	2	12,2	12,2	12,5	12,3	12,4	12,0	11,9
	Б	35	2	12,4	12,3	12,4	12,6	12,4	11,9	12,0
	М	35	2	12,1	12,2	12,3	12,4	12,4	12,0	12,0
Zn(45)	М	30	2	12,0	12,1	12,1	12,1	12,2	12,2	12,3
	М	35	2	12,4	12,6	12,6	12,4	12,4	11,9	11,9
	Б	30	2	12,0	12,0	12,0	12,0	12,1	12,1	12,1
Cu(50)	М	30	2	12,1	12,1	12,1	12,2	12,1	12,3	12,3
	М	35	2	11,9	12,0	11,9	11,9	12,0	12,0	12,0
	Б	30	2	12,0	12,0	12,2	12,2	12,2	12,4	12,4

*Образование осадка.

Заключение. Для получения жидких концентрированных Cu–ГВ, Zn–ГВ и Cu–Zn–ГВ микроэлементных удобрений целесообразно использовать низинный торф со степенью разложения 35 %, поскольку такие удобрения обладают наибольшей устойчивостью и имеют более высокие значения коэффициента пропускания, которые могут служить характеристикой устойчивости таких удобрений.

Не установлено заметной разницы в физико-химических свойствах и устойчивости концентрированных микроэлементных удобрений, полученных с использованием как ГВ торфа, так и ГК торфа.

В жидкие концентрированные Cu–ГВ, Zn–ГВ и Cu–Zn–ГВ микроэлементные удобрения лучше всего вводить ГВ, полученные путем щелочной экстракции низинного торфа при температуре 96–98 °C в течение 2 часов.

Список использованных источников

1. Микроэлементы в сельском хозяйстве / С. Ю. Булыгин [и др.] ; под общ. ред. С. Ю. Булыгина. – Днепропетровск : Січ, 2007. – 100 с.
2. Горовая, А. И. Гуминовые вещества / А. И. Горовая, Д. С. Орлов, О. В. Щербенко. – Киев : Навукова думка, 1995. – 303 с.

3. Жидкое комплексное гуминовое микроудобрение (варианты) : пат. 16753 Респ. Беларусь, МПК С 05G3/00 / Т. Я. Кашинская, А. П. Гаврильчик, Г. А. Соколов, М. В. Рак, В. В. Лапа, Е. А. Саванец ; заявитель ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси. – № а 20110588; заявл. 05.05.2011 ; опубл. 28.02.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 1. – С. 85.
4. Способ получения меди-гуминового удобрения : пат. 12858 Респ. Беларусь, МПК(2006) С 05 G 3/00 / Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов, О. М. Самокар ; заявитель Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов, О. М. Самокар. – № а 2007205 ; заявл. 03.10.2007 ; опубл. 24.11.2009 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010. – № 1 (71). – С. 91.
5. Способ получения комплексного медь–цинк гуминового удобрения : пат. 16752 Респ. Беларусь, МПК С 05G3/00 / С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов ; заявитель ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси. – а 20110695 ; заявл. 18.05.2011 ; опубл. 28.02.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 1. – С. 86.
6. Способ получения комплексного цинк-бор гуминового удобрения: пат. 21033 Респ. Беларусь, МПК С 05G3/00 / С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов ; заявитель ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси. – а 20130983 ; заявл. 15.08.2013 ; опубл. 26.01.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 2. – С. 82.
7. Коврик, С. И. Медь-цинк микрэлементное гуминовое удобрение / С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов // Природопользование : сб. науч. тр. – 2012. – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 278–283.
8. Коврик, С. И. Условия получения нерастворимых и растворимых медь-цинк-гуминовых соединений / С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов // Проблемы природопользования : сб. тр. Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 21–23 ноября 2012 г. – Минск, 2012. – С. 48–52.
9. Глинка, Н. Л. Общая химия / Н. Л. Глинка. – Л. : Химия, 1983. – 731 с.
10. Бамбалов, Н. Н. Содержание легкогидролизуемых веществ в гуминовых кислотах, выделенных из торфа при различных условиях / Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова // Природопользование : сб. науч. тр. – 2014. – Вып. 25. – С. 179–183.
11. Бамбалов, Н. Н. Коагуляция гуматов, выделенных из торфа водным аммиаком / Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова // Природопользование : сб. науч. тр. – 2014. – Вып. 25. – Минск, 2014. – С. 143–146.
12. Бамбалов, Н. Н. Изменение физико-химических свойств гуминовых кислот в процессе гумификации торфов : автореф. дис. ... канд. хим. наук / Н. Н. Бамбалов ; Ин-т торфа Акад. наук БССР. – Минск, 1968. – С. 21.

References

1. *Mikroelementyi v selskom hozyaystve ; pod obsch. red. S. Yu. Bulyigina* [Trace elements in agriculture. Under total. ed. S. Yu. Bulygina]. Dnepropetrovsk, 2007, 100 p. (in Russian).
2. Gorovaya A. I., Orlov D. S., Scherbenko O. V. *Guminovye veschestva* [Humic substances]. Kiev, 1995, 303 p. (in Russian).
3. Kashinskaya T. Ya., e. a. *Zhidkoe kompleksnoe guminovoe mikroudobrenie (variantyi)* [Liquid complex humic microfertilizer (options)]. Patent Republic of Belarus, no. 16753 (in Russian).
4. Bambalov N. N., e. a. *Sposob polucheniya med-guminovogo udobreniya* [The method of obtaining the copper-humic fertilizer]. Patent Republic of Belarus, no. 12858 (in Russian).
5. Kovrik S. I., e. a. *Sposob polucheniya kompleksnogo med-zink-guminovogo udobreniya* [The method of obtaining the complex copper-zinc humic fertilizer]. Patent Republic of Belarus, no. 16752 (in Russian).
6. Kovrik S. I., e. a. *Sposob polucheniya kompleksnogo med-zink-guminovogo udobreniya* [The method of obtaining the complex zinc-boron humic fertilizer]. Patent Republic of Belarus, no. 20130983 (in Russian).
7. Kovrik, S. I., Bambalov N. N., Sokolov G. A. *Med-zink- mikroelementnoe udobrenie* [Copper-zinc- micronutrient humic fertilizer] *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov* = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus “Nature Management”, Minsk, 2012.no.21, pp. 278–283 (in Russian).
8. Kovrik S. I., Bambalov N.N. *Usloviya polucheniya nerastvorimih i rastvorimih med-zink-guminovih soedineniy* [The conditions for obtaining insoluble and soluble copper-zinc-humic compounds] *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferenzi “Problemi prirodopolsovaniya”* [International scientific and technical Conference “Problems of environmental management”]. Minsk, 2012, pp. 48–52 (in Russian).
9. Glinka N. L. *Obshaya chimiya* [General chemistry]. Leningrad, 1983, 731 p. (in Russian).
10. Bambalov N. N., Smirnova V. V. *Soderchanie legkogidrolizuemih vechestv v guminivih kislotah, videlennih iz torfa pri razlichnih usloviyach* [The content of hydrolysable substances in humic acids isolated from peat under various conditions] *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov* = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus “Nature Management”, Minsk, 2014, no. 25, pp. 179–183 (in Russian).
11. Bambalov N. N., Smirnova V. V. *Koagulyatsiya gumatov, vyidelenniyh iz torfa vodnym ammiakom* [Coagulation of humates isolated from peat by aqueous ammonia]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov* = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus “Nature Management”, Minsk, 2014, no. 25, pp. 143–146 (in Russian).
12. Bambalov, N. N. *Izmenenie fiziko-himicheskikh svoystv guminovih kislot v prochesse gumifikaghii torfov*. Avtoref diss. kand. him. nauk [Changes in the physicochemical properties of humic acids in the process of the hydrification of peats]. Minsk, 1968, 21 p. (in Russian).

Информация об авторах

Коврик Светлана Ивановна – канд. техн. наук, доцент, вед. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: skovrik09@mail.ru

Кушнерова Светлана Александровна – мл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: svetakushnerova@gmail.com

Бамбалов Николай Николаевич – академик, д-р с.-х. наук, проф., гл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: humico@ecology.basnet.by

Соколов Геннадий Алексеевич – канд. с.-х. наук, вед. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: agrico@ecology.basnet.by

Information about the authors

Svetlana I. Kovrik – Ph.D. (Technical), Docent, Leading Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Scoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: skovrik09@mail.ru

Svetlana A. Kushnerova – Junior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Scoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: svetakushnerova@gmail.com

Nikolai N. Bambalov – Academician, D.Sc. (Agricultural), Professor, Chief researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: humico@ecology.basnet.by

Gennadiy A. Sokolov – Ph.D. (Agricultural), Leading Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: agrico@ecology.basnet.by

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ НА ВЫРАБОТАННЫХ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИКРОБНО-РАСТИТЕЛЬНОЙ АССОЦИАЦИИ

**Л. Е. Картыжова¹, З. М. Алещенкова¹, Н. В. Короленок¹, А. П. Яковлев², Г. И. Булавко²,
С. П. Антохина², Т. В. Соколова³, Н. Е. Сосновская³, В. С. Пехтерева³**

¹*Институт микробиологии НАН, Минск, Беларусь*

²*Центральный ботанический сад НАН Беларусь, Минск, Беларусь*

³*Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь*

Аннотация. Изучена микробиологическая активность торфяной почвы на выработанном Журавлевском торфяном месторождении Витебской области при использовании микробно-растительной ассоциации. Установлено, что применение серии микробных препаратов на выработанных торфяных месторождениях в агроценозе голубики оказывает стимулирующие влияние на функционирование микробоценоза ризосферной почвы и способствует значительному увеличению ее биогенности. Установлено влияние микробно-растительной ассоциации на интенсивность микробиологических процессов, накопление микробной биомассы, степень минерализации органического вещества. Изучено влияние влажности почвы на ее биогенность, активность целлюлозоразрушающих процессов в весенний и осенний период.

Ключевые слова: почва выработанного торфяного месторождения; микробиологическая активность; микробно-растительная ассоциация; биогенность; микробная биомасса.

Для цитирования. Картыжова Л. Е., Алещенкова З. М., Короленок Н. В., Яковлев А. П., Булавко Г. И., Антохина С. П., Соколова Т. В., Сосновская Н. Е., Пехтерева В. С. Микробиологическая активность почвы на выработанных торфяных месторождениях при использовании микробно-растительной ассоциации. – 2019. – № 1. – С. 225–235.

MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF SOIL ON ELABORATED PEAT DEPOSITS DURING THE USE OF MICROBIAL-PLANT ASSOCIATION

**L. E. Kartyzhova¹, Z. M. Aleschenkova¹, N. V. Korolyonok¹, A. P. Yakovlev², G. I. Bulavko²,
S. P. Antokhina², T. V. Sokolova³, N. E. Sosnovskaya³, V. S. Pehtereva³**

¹*Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

²*Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

³*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

Abstract. The soil microbiological activity was studied on developed Zhuravlevskoye peat deposit of the Vitebsk region using a microbial-plant association. It has been established that the use of a series of microbial preparations on the developed peatlands in the blueberry agroecosystem has a stimulating effect on the functioning of the rhizosphere microbiocenosis and increases its biogenicity. The influence of microbial-plant association on the intensity of the microbiological processes, accumulation of microbial biomass, the degree of the mineralization of organic matter has been established. The effect of soil moisture on its biogenicity in the spring and autumn, as well as waterlogging on the activity of cellulose-depleting processes, has been studied.

Key words: the peat of developed peat deposit; microbiological activity; microbial-plant association; biogenicity; microbial biomass.

For citation. Kartyzhova L. E., Aleschenkova S. M., Korolyonok N. V., Yakovlev A. P., Bulavko G. I., Antokhina S. P., Sokolova T. V., Sosnovskaya N. E., Pehtereva V. S. Microbiological activity of soil on elaborated peat deposits during the use of microbial-plant association. *Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 225–235.

Введение. В настоящее время очень остро стоит вопрос о восстановлении выбывших из промышленного использования земель сельскохозяйственного назначения. К таким почвам относятся выработанные торфяные месторождения. До настоящего времени их рекультивация представляла собой восстановление их хозяйственной ценности за счет применения минеральных удобрений и выращивания многолетних трав. Восстановление питательной ценности и продуктивное возделывание сельскохозяйственных культур на выработанных торфяных месторождениях с получением экологиче-

ски чистой и экономически выгодной продукции не может основываться на использовании полных доз минеральных удобрений. В связи с этим разработка биотехнологий по рекультивации выбывших из промышленного использования торфяных почв должна основываться на обогащении почвы микроорганизмами, обладающими хозяйственными ценными свойствами: минерализация целлюлозы, синтез биологически активных веществ (фитогормоны, антибиотики, сидерофоры), азотфиксация, фосфатомобилизация и возделывание ягодных культур, приспособленных к кислой реакции среды.

Направленное влияние комплексных микробных препаратов, созданных на основе консорциумов микроорганизмов, на микробную составляющую выработанных торфяных месторождений позволит обеспечить восстановление продуктивности этих земель.

Целью настоящих исследований было изучение микробиологической активности торфяной почвы выработанных торфяных месторождений в результате использования микробно-растительной ассоциации.

Степень влияния микробных препаратов на состояние и функционирование микробоценоза выбывших из промышленного использования земель можно определить при изучении и сравнительном анализе микробиологической активности как контрольных, так и опытных вариантов. Известно, что целенаправленное применение микробных препаратов оказывает положительное влияние на функционирование почвенной биоты, обеспечивая интенсивность микробиологических процессов. Почвенные микроорганизмы как стабилизаторы экосистемы способствуют завершению многих биогеохимических циклов, регулируя поступление парниковых газов из почвы в атмосферу [15].

Обладая полифункциональностью в силу многообразия ферментативной системы, уникальным механизмом адаптации, определяющим быстрое приспособление к новым условиям существования, высокой скоростью размножения, обеспечивающей колонизацию поступающего субстрата, микроорганизмы поддерживают гомеостаз экосистемы [6]. Немаловажна роль микробного сообщества как биоиндикатора происходящих в почве процессов. Отражением антропогенного воздействия служат морфологические изменения микробных популяций, кинетика их роста и развития, структурно-функциональные преобразования микробных сообществ и их биохимическая активность. Микробные реакции на внешние воздействия проявляются быстро и отчетливо, что дает возможность выявить реакцию на тот или иной тип воздействия и прогнозировать их дальнейшее состояние. Использование микробных сообществ для оценки состояния техногенных экосистем основано на адаптационных качествах микробных комплексов, которое проявляется в том, что своей структурно-функциональной организацией они отражают свойства макроэкосистем [7].

Таким образом, изучение изменений микробных сообществ торфяной почвы на выработанных торфяных месторождениях при использовании микробных препаратов на фоне выращивания растений рода *Vaccinium* является неотъемлемой частью познания процессов восстановления подверженных техногенному воздействию экосистем.

Известно, что повышение плодородия почвы происходит в том случае, если идет постоянное ее пополнение как биологическим азотом (интродукция азотфиксирующих микроорганизмов), так и органическим веществом (запашка растительности, внесение навоза). В первую очередь растениями используется азот биологический (микробные препараты на основе азотфиксирующих микроорганизмов), азот органического вещества в результате минерализации накапливается в почве. Систематическое применение органических удобрений, необходимых для поддержания бездефицитного баланса гумуса в почве, приводит вначале к заметному повышению его содержания, а затем содержание гумуса стабилизируется на определенном новом количественном уровне. В то же время как максимальное, так и минимальное содержание гумуса зависит от природных условий, типа почвы, ее хозяйственного использования. При использовании верхнего пахотного плодородного слоя на промышленные цели (выработанное торфяное месторождение) баланс органического вещества в почве находится на самом низком уровне динамического равновесия и доступность растениям макро- и микроэлементов, эффективность удобрений, активность и групповой состав почвенной микрофлоры, скорость минерализации растительных остатков существенно зависят от реакции среды. С целью рекультивации выработанных торфяных месторождений с pH 3,0–4,0 в полевом опыте на территории Журавлевского торфяного месторождения Витебской области были использованы микробные компоненты (серия микробных препаратов на основе целлюлозоразрушающих, азотфиксирующих, фосфатомобилизующих микроорганизмов и органического вещества) и растительные (ягодные культуры семейства *Ericaceae*, голубика высокорослая сорта *Denise Blue*). Агрехимические, физические и биологические показатели торфяной почвы выработанных торфяных месторождений, подверженных фиторекультивационным процессам, а, следовательно, и условия прорастания растений находились в полной зависимости от них.

Объекты и методы. Объектами исследований явились:

почвенные – торфяная почва на выработанном торфяном месторождении «Журавлевское» с агрехимической и микробиологической характеристикой, мг/кг с.в.: N-NH₄ – 132,3; N-NO₃ – 74,4;

P_2O_5 – 187,2, K_2O – 75,0. Микробиологическая активность биомассы микроорганизмов – 285,1 мкг С/г; активность респирации – 67,2 мкг CO_2 /г в сутки; метаболический коэффициент Q – 0,20, pH_{KCl} – 3,7;

растительные – голубика сорта *Denis Blue*;

микробные – серия микробных препаратов: ПолифунКуР, Полибакт (на основе органического вещества, целлюлозоразрушающих, азотфиксацирующих, фосфатомобилизующих микроорганизмов) в сочетании с микробным препаратом МаКлоР (10 %-ная и 50 %-ная концентрация рабочего раствора).

Схема полевого опыта:

- 1) контроль, без внесения удобрений;
- 2) NPK (в соотношении – 16:16:16 кг д.в/га);
- 3) серия микробных препаратов в сочетании с 10 %-ным рабочим раствором МаКлоР (при посадке);
- 4) серия микробных препаратов в сочетании с 50 %-ным рабочим раствором МаКлоР (при посадке).

В лабораторных условиях осуществляли контроль активности штаммов микроорганизмов при наработке микробных препаратов, применяемых в полевых опытах. Качество микробных препаратов оценивали по численности микроорганизмов, входящих в их состав, а также по показателям азотфиксацирующей и фосфатомобилизующей активности. Степень соответствия полученных данных устанавливали при сравнении с исходными (ТУ BY).

Для интродукирования в почву агрономически ценной микрофлоры нарабатывали культуральную жидкость микрорганизмов, являющихся основой микробных препаратов: азотфиксацирующего ассоциативного диазотрофа – на жидкой среде Эшби [3], фосфатомобилизующих бактерий – на среде МСА [4]. Хранение и поддержание культур осуществляли на агаризованных средах.

Наработку опытных партий микробных препаратов, применяемых в полевых условиях на выработанных торфяных месторождениях, осуществляли методом глубинного культивирования в ферментерах в лаборатории ферментационных процессов с опытно-промышленным производством на специфической для каждой культуры питательной среде.

Микробиологическую активность торфяной почвы модельно–полевого опыта устанавливали дважды весной и осенью, определяя численность почвенных микроорганизмов по методике Ж. П. Поповой [8].

Определение микробной биомассы осуществляли 3–5 раз за сезон с использованием физиологического метода [5]. Значение метаболического коэффициента вычисляли как отношение микробной биомассы, заключенной в 1 г субстрата, к количеству выделенной ею в течение 1 ч углекислоты [1].

Влажность и влагосодержание торфяной почвы определяли по СТБ 2308–2013 (п. 2.4.2–2.4.4).

Целлюлополитическую активность торфяной залежи по вариантам опыта определяли по потере веса (%) от контроля) льнополотна, закладываемого в почву на 30 дней, как в лабораторных, так и полевых условиях [8].

Результаты и их обсуждение. В результате проведенных микробиологических исследований образцов торфяной почвы (1-й год полевого опыта) было установлено, что в процессе роста и развития голубики биогенность торфяной почвы в течение вегетационного периода в контрольном варианте возрастает в 100 раз, а в опытах с применением минеральных удобрений не изменяется (рис. 1). При применении микробных препаратов биогенность торфяной почвы в течение вегетационного периода практически не изменяется и находится на уровне на 1–3 порядка выше, чем в контроле.

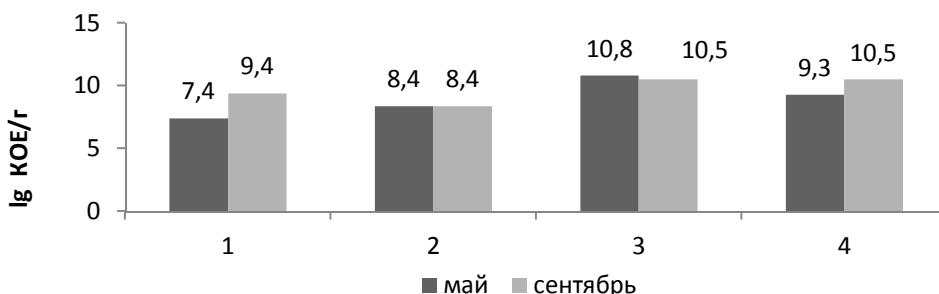


Рис. 1. Биогенность торфяной почвы выработанного торфяного месторождения в полевом опыте (первый вегетационный период): 1 – контроль; 2 – NPK; 3 – серия микробных препаратов в сочетании с 10 %-ным раствором МаКлоР; 4 – серия микробных препаратов в сочетании с 50 %-ным раствором МаКлоР

Fig. 1. The biogenicity of the peat of developed peat deposit in the field experiment (in 2016):
 1 – control; 2 – NPK; 3 – the series of microbial drugs in combination with 10 % solution of MaCloR;
 4 – the series of microbial drugs in combination with 50 % solution of MaCloR

Так, биогенность выработанного торфяного месторождения полевого опыта в вариантах с применением серии микробных препаратов в сочетании с 10 %-ным и 50 %-ным МаКлоП в начале вегетационного периода (май) составила $1,6 \cdot 10^{10}$ и $2,0 \cdot 10^9$ КОЕ/г почвы, в конце (сентябрь) – $3,2 \cdot 10^{10}$ КОЕ/г почвы. На второй год вегетации растений (рис. 2) неблагоприятные погодные условия не оказали негативного влияния на функционирование микробоценоза торфяной выработки в вариантах с применением микробных препаратов, общая численность микроорганизмов в данных вариантах составила в среднем: в мае – $1,6 \cdot 10^{10}$ КОЕ/г и сентябрь – $5,9 \cdot 10^{10}$ КОЕ/г. Весной численность почвенных микроорганизмов в варианте с применением минеральных удобрений ($5,0 \cdot 10^8$ КОЕ/г) в 2 раза превышала контрольные показатели ($2,5 \cdot 10^3$ КОЕ/г). К концу вегетационного периода составила $1 \cdot 10^{10}$ КОЕ/г почвы, что на 2 порядка превышало исходную величину, но была несколько ниже, чем в вариантах с применением микробных препаратов.

Анализ общей численности микроорганизмов основных эколого-трофических групп в весенний период (май) второго вегетационного периода по вариантам долгосрочного полевого опыта показал, что с уменьшением влажности торфяной почвы биогенность повышается (рис. 2). Так, в вариантах с применением микробных препаратов (в сочетании с 10 %-ным и 50 %-ным рабочим раствором МаКлоП) при уменьшении влажности торфяной почвы выработанного торфяного месторождения в 1,3 и 2,5 раза по сравнению с контрольной величиной общая численность микроорганизмов основных эколого-трофических групп увеличивается в 64 раза.

Установлено, что в мае в варианте с минеральными удобрениями влагосодержание торфяной почвы превышает контрольную величину на 14,5 %, что негативно отразилось на ее микробиологической активности. Биогенность торфяной почвы выработанного торфяного месторождения составила $5,0 \cdot 10^8$ КОЕ/г почвы, что в среднем в 32 раза меньше, чем с применением микробных препаратов. К осени в процессе роста и развития голубики влагосодержание торфяной почвы уменьшилось с применением минеральных удобрений, что способствовало увеличению биогенности торфяной почвы в 76 раз по сравнению с контролем и в 20 раз по сравнению с весенними показателями. Подкормка вегетирующих растений микробными препаратами способствовала активному функционированию микробоценоза торфяной почвы выработанного торфяного месторождения, ее биогенность составила $7,6 \cdot 10^{10}$ КОЕ/г (10 %-ный рабочий раствор МаКлоП) и $3,9 \cdot 10^{10}$ КОЕ/г (50 %-ный рабочий раствор МаКлоП) и превысила весенние показатели в 5 раз (10 %-ный рабочий раствор МаКлоП) и 2,4 раза (50 %-ный рабочий раствор МаКлоП).

Важной характеристикой функциональной активности микроорганизмов торфяной почвы в погодных условиях второго вегетационного периода и степени влияния микробных препаратов на микробиологическую активность в полевом опыте является интенсивность выделения углекислого газа из торфяной почвы (рис. 3). Как следует из представленных данных, максимальное количество выделившегося углекислого газа во второй вегетационный период отмечается весной в контролльном варианте и вариантах с применением серии микробных препаратов. Необходимо отметить, что в варианте с минеральными удобрениями интенсивность выделения CO_2 ниже контрольной (май). К концу вегетационного периода отмечается снижение интенсивности выделения CO_2 во всех вариантах опыта, что свидетельствует о затухании микробиологических процессов в почве в целом.

Анализ полученных данных по накоплению микробной биомассы показал, что максимальное ее количество установлено в весенний период в варианте с применением микробных препаратов в сочетании с 10 %-ным МаКлоП (405 мкг С/г почвы) и в конце вегетационного периода – в сочетании с 50 %-ным МаКлоП (387 мкг С/г почвы) (рис. 4). В варианте с применением серии микробных препаратов в составе с 10 %-ным рабочим раствором МаКлоП в конце вегетационного периода (сентябрь) по сравнению с весной (май) отмечается некоторое снижение интенсивности микробиологических процессов (от 57,3 до 25,7 мкг CO_2 /г почвы/сутки, рис. 3) и накопления микробной биомассы в 1,4 раза (рис. 4). Однако установлена положительная тенденция в интенсивности микробиологических процессов и накоплении микробной биомассы в неблагоприятный по погодным условиям год (2-й год вегетации) в варианте с применением серии микробных препаратов в составе 50 %-ной концентрации рабочего раствора МаКлоП. Интенсивность выделения CO_2 составила 39,9 CO_2 /г почвы/сутки, а содержание микробной биомассы – 387 мкг С/г почвы.

Необходимо отметить, что применение минеральных удобрений снижает интенсивность выделения CO_2 в весенний период на 25 %, а накопление микробной биомассы – на 5 %, тогда как в осенний период такой закономерности не установлено, накопление микробной биомассы в данном варианте – минимальное и составило 265 мкг С/г почвы.

Показано, что применение микробных препаратов на почве выработанного торфяного месторождения и выращивание голубики сорта *Denis Blue* приводит к перестройке в структуре микробного ценоза. Изменение численности микроорганизмов отдельных эколого-трофических групп в опытных вариантах свидетельствует об интенсификации микробиологических процессов, проходящих в опытных вариантах в результате применения микробных препаратов на почве по сравнению с контролльным вариантом (без удобрений) на протяжении двухлетнего периода роста и развития голубики.

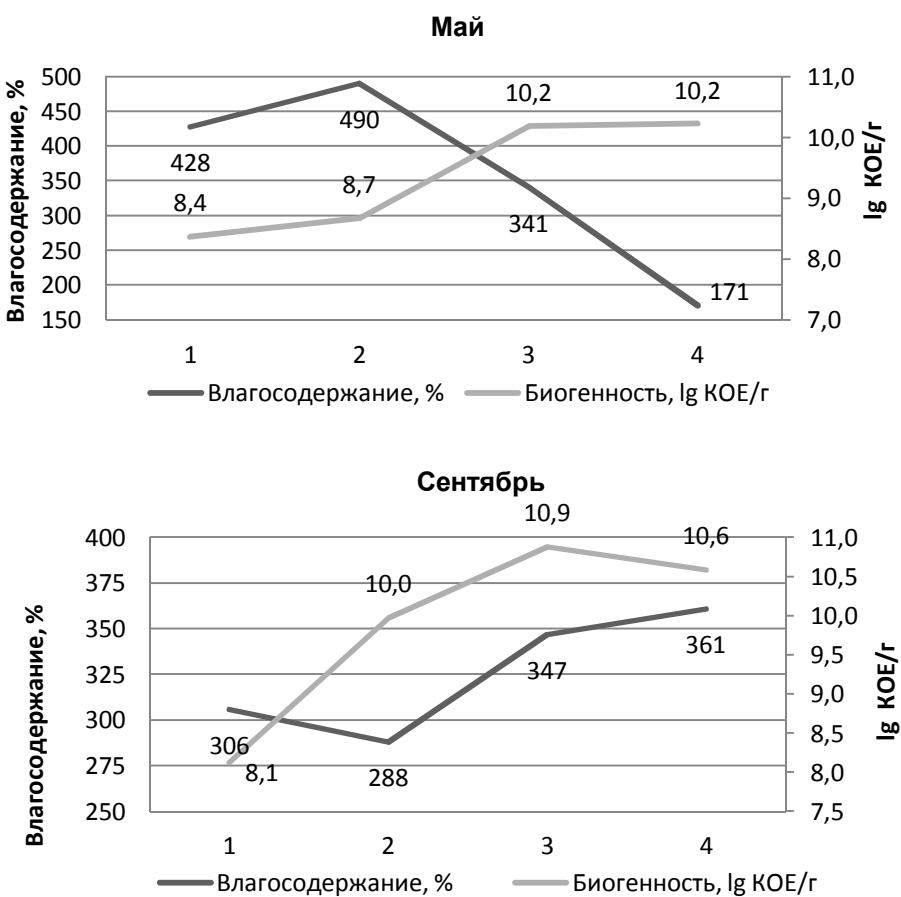


Рис. 2. Сезонные изменения влагосодержания и биогенности торфяной почвы выработанного торфяного месторождения в условиях полевого опыта (второй вегетационный период):
1 – контроль; 2 – NPK; 3 – серия микробных препаратов в сочетании с 10 %-ным раствором МаоСоР; 4 – серия микробных препаратов в сочетании с 50 %-ным раствором МаоСоР

Fig. 2. Seasons changes of moisture content and the soil biogenicity of developed peat deposit in the conditions of the field experiment (in 2017): 1 – control; 2 – NPK; 3 – the series of microbial drugs in combination with 10 % solution of MaCloR; 4 – the series of microbial drugs in combination with 50 % solution of MaCloR

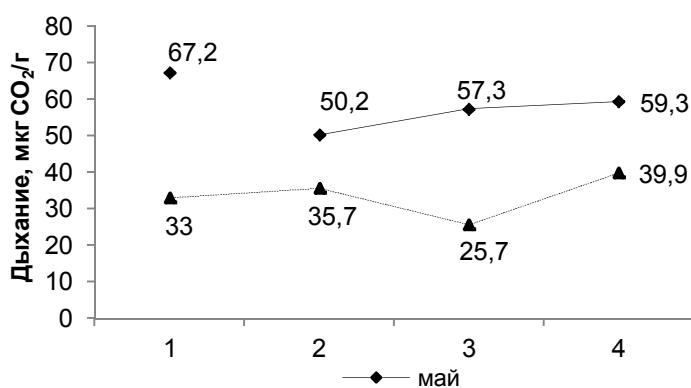


Рис. 3. Интенсивность микробиологических процессов в торфяной почве выработанных торфяных месторождений (полевой опыт, второй вегетационный период), CO₂/г почвы/сутки: 1 – контроль; 2 – NPK; 3 – серия микробных препаратов в сочетании с 10 %-ным раствором МаоСоР; 4 – серия микробных препаратов в сочетании с 50 %-ным раствором МаоСоР

Fig. 3. The intensity of microbiological processes in the soil of the developed peat deposit of the field experiment (in 2017), CO₂/g soil/day: 1 – control; 2 – NPK; 3 – the series of microbial drugs in combination with 10 % solution of MaCloR; 4 – the series of microbial drugs in combination with 50 % solution of MaCloR

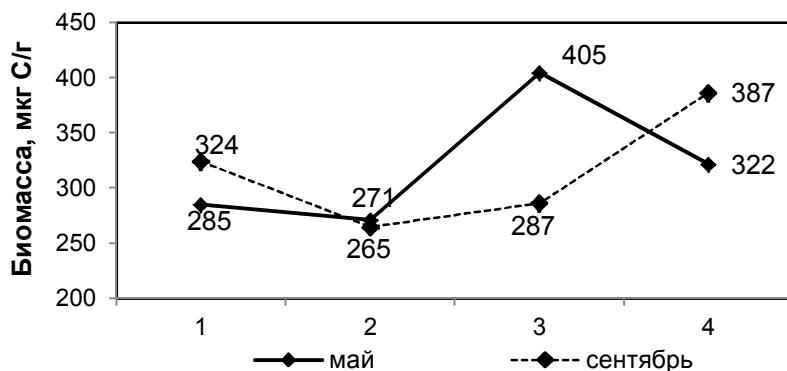


Рис. 4. Биомасса микроорганизмов, составляющих микробоценоз торфяной почвы выработанного торфяного месторождения в полевом опыте: 1 – контроль; 2 – NPK; 3 – серия микробных препаратов в сочетании с 10 %-ным раствором МаоЛоР; 4 – серия микробных препаратов в сочетании с 50 %-ным раствором МаоЛоР

Fig. 4. The biomass of the organisms, constitute the microbiocenosis of the soil of developed peat deposit in the field experiment: 1 – control; 2 – NPK; 3 – the series of microbial drugs in combination with 10 % solution of MaCloR; 4 – the series of microbial drugs in combination with 50 % solution of MaCloR

Установлено, что преобладающей группой микроорганизмов среди основных изучаемых эколого-трофических групп в вариантах с использованием микробных препаратов была группа активных аммонифицирующих бактерий, численность которых на 3 порядка превышала контрольные показатели. Развитие спорообразующей аммонифицирующей группы по всем вариантам опыта представлено на рис. 5, визуально отмечается преобладающее ее количество в вариантах опыта с использованием микробных препаратов. В контрольном варианте и с минеральными удобрениями, где отмечается максимальное переувлажнение почвы, численность спорообразующей аммонифицирующей микрофлоры на 2–3 порядка меньше активной. Максимальное развитие активной аммонифицирующей микрофлоры, численность которой превышает количество спорообразующей на 5–6 порядков, отмечается в вариантах с применением микробных препаратов, что свидетельствует о наличии легкодоступных соединений, а также о завершении минерализационных процессов. В данных вариантах показано преимущественное развитие споровых видов *Bacillus subtilis* и *Bacillus mesentericus*, что свидетельствует об оккультуривании почвы и улучшении ее азотного режима.

При характеристике относительной интенсивности минерализационных процессов в почве особое внимание обращают на численность как аммонифицирующих микроорганизмов, так и усваивающих минеральные формы азота. Соотношение этих двух групп микроорганизмов является показателем относительной интенсивности минерализационных процессов. Численность аммонифицирующих



Рис. 5. Развитие спорообразующей аммонифицирующей микрофлоры в условиях полевого опыта на торфяной почве выработанных торфяных месторождений при применении микробно-растительной ассоциации (2-й год вегетации голубики)

Fig. 5. The development of spore-forming ammonifying microflora in the conditions of the field experiment on the basis of developed peat deposits when using the microbial-plant association (2nd year of blueberry growing season)

микроорганизмов и усваивающих минеральный азот, выявленных на МПА и КАА, возрастала за счет применения микробных препаратов, как в год посадки саженцев голубики, так и в последующий год. В вариантах с применением микробных препаратов в результате активной деятельности полезной микрофлоры процессы минерализации труднодоступных соединений органического вещества завершены, о чем свидетельствует K_{\min} . В контрольном варианте K_{\min} , как в первый, так и во второй год находится на одном уровне и стремится к 1 (1-й год – 0,75; 2-й год – 0,71), что практически соответствует уровню природных биотопов (0,53–0,69) [2] или черноземных почв (0,5; 1,0 и 1,5) [16].

Применение серии микробных препаратов в фитоценозе голубики способствовало перестройке в структуре микробоценоза. Численность олиготрофной микрофлоры (мало требовательной к плодородию почвы, способной существовать в экстремальных условиях с минимальным количеством питательных веществ) при использовании серии микробных препаратов и денитрифицирующей составляющей, обедняющей почву азотом, снижалась по сравнению с контролем (рис. 6 и 7). Количество олиготрофной микрофлоры в контроле выше, чем в варианте с микробными препаратами в 1,9 и 1,5 раза соответственно. В варианте с микробными препаратами в составе с 10 %-ным и 50 %-ным рабочим раствором микробного препарата МаКлоР различия в численности олиготрофной микрофлоры составляют 20 %, что связано с концентрацией клеток азотфиксацией микрофлоры, интродуцируемой в почву.

Процессы денитрификации наиболее активно идут в контрольном варианте (рис. 8). Численность денитрифицирующих микроорганизмов в данном варианте составила в осенний период $1,8 \cdot 10^6$ КОЕ/г а.с.п. Необходимо отметить, что применение серии микробных препаратов обеспечивает снижение потерь азота за счет снижения численности денитрифицирующих микроорганизмов в 106 (10 %-ный рабочий раствор МаКлоР) и 30 (50 %-ный рабочий раствор МаКлоР) раз.

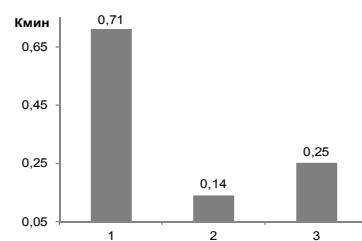


Рис. 6. Коэффициент минерализации органического вещества по вариантам полевого опыта:
1 – контроль; 2 – серия микробных препаратов в сочетании с 10 %-ным раствором МаКлоР;
3 – серия микробных препаратов в сочетании с 50 %-ным раствором МаКлоР

Fig. 6. The coefficient of organic substance mineralization by variants of the field experiment:
1 – control; 2 – the series of microbial drugs in combination with 10 % solution of MaCloR;
3 – the series of microbial drugs in combination with 50 % solution of MaCloR

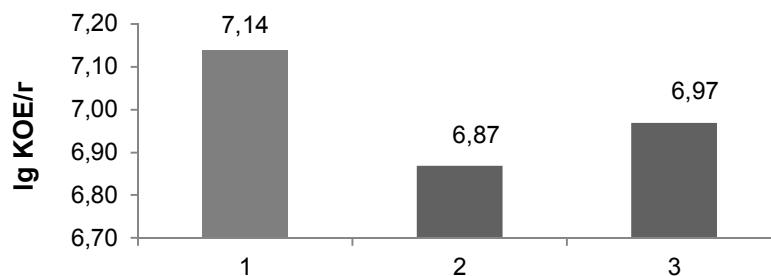


Рис. 7. Численность олиготрофной микрофлоры торфяной почвы выработанного торфяного месторождения (полевой опыт): 1 – контроль; 2 – серия микробных препаратов в сочетании с 10 %-ным раствором МаКлоР; 3 – серия микробных препаратов в сочетании с 50 %-ным раствором МаКлоР

Fig. 7. The number of oligotrophic microflora of the soil of developed peat deposit (field experiment):
1 – control; 2 – the series of microbial drugs in combination with 10 % solution of MaCloR;
3 – the series of microbial drugs in combination with 50 % solution of MaCloR

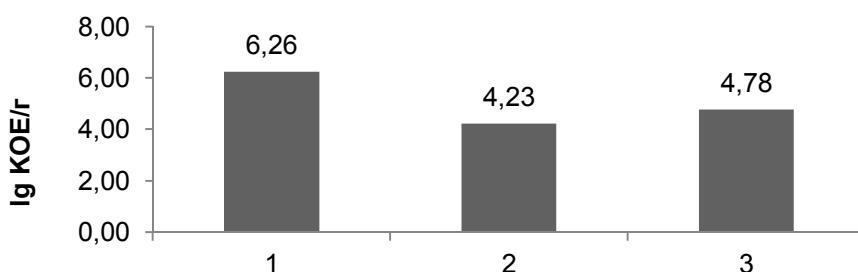


Рис. 8. Численность денитрифицирующих микроорганизмов в торфяной почве (полевой опыт):
1 – контроль; 2 – серия микробных препаратов в сочетании с 10 %-ным раствором МаоКлоР;
3 – серия микробных препаратов в сочетании с 50 %-ным раствором МаоКлоР

Fig. 8. The number of the denitrifying microorganisms of peat output (field experiment):
1 – control; 2 – the series of microbial drugs in combination with 10 % solution of MaCloR;
3 – the series of microbial drugs in combination with 50 % solution of MaCloR

Анализ деятельности целлюлозоразрушающей микрофлоры (ЦРМ) в течение двух вегетационных периодов на выработанных торфяных месторождениях в полевом опыте показал, что применение микробных препаратов в 1-й год исследований при 60 %-ной влажности торфяной почвы способствовало активному разрушению льнополотна в течение 30 дней, что составило 8 % (10 %-ный раствор МаоКлоР) и 27 % (50 %-ный раствор МаоКлоР) от контроля (рис. 9).

Погодные условия 2-го вегетационного периода, способствующие повышению влажности торфяной почвы выработанного торфяного месторождения до 80 %, негативно отразились на активности целлюлозоразрушающей микрофлоры. В вариантах с применением микробных препаратов снижение целлюлополитической активности составило 72 (10 %-ный рабочий раствор МаоКлоР) и 68 % (50 %-ный рабочий раствор МаоКлоР).

Для проведения сравнительного анализа деятельности целлюлозоразрушающей микрофлоры образцов торфяной почвы 1-го и 2-го года наблюдений необходимым условием должна быть одинаковая влажность субстрата. В связи с этим в лабораторных условиях при 60 %-ной влажности был заложен модельный опыт. В сосуды с почвенными образцами всех вариантов на глубине 0–15 см

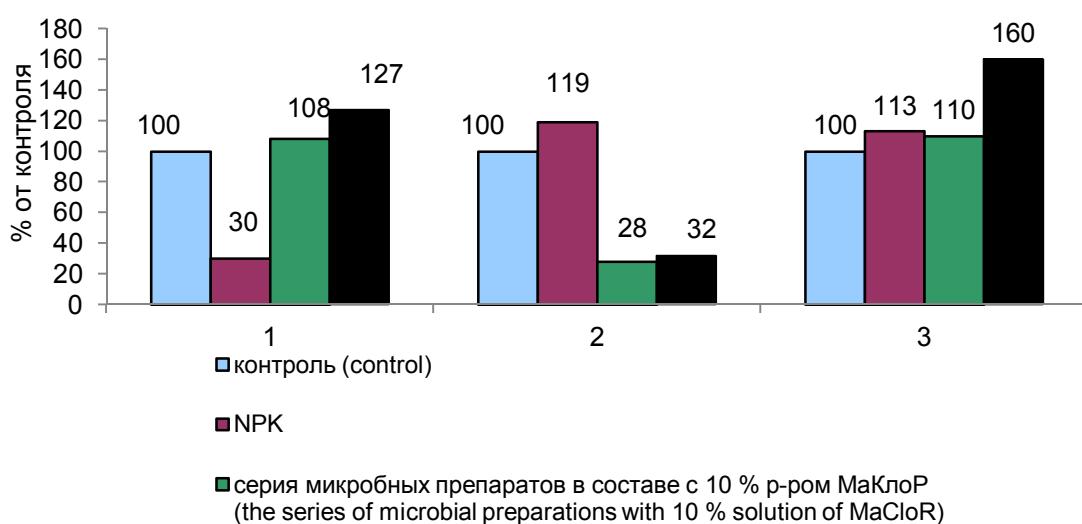


Рис. 9. Целлюлозоразрушающая способность (разложение льнополотна) торфяной почвы выработанного торфяного месторождения при разной влажности: 1 – 60 % (полевой опыт, первый год вегетации);
2 – 80 % (полевой опыт, второй год вегетации); 3 – 60 % (лабораторный опыт второго года вегетации)

Fig. 9. Cellulose-depleting ability (decomposition of flax weed) of the soil of developed peat deposit at different humidity: 1 – 60 % (field experiment in 2016); 2 – 80 % (field experiment in 2017);
3 – 60 % (laboratory experiment in 2017)

помещались льняные пластиинки. В течение эксперимента проводили контроль влажности и обеспечивали оптимальную аэрацию поверхностного слоя торфяной почвы путем постоянного ее рыхления. В результате проведенного эксперимента были получены данные, свидетельствующие о том, что, и в первый год вегетации, и во второй при одинаковой влажности торфяной почвы (60 %) процесс разрушения льнополотна (активность целлюлозоразрушающей микрофлоры) в вариантах с применением микробных препаратов проходил на 10 % (10 %-ный рабочий раствор МаКлоП) и 60 % (50 %-ный рабочий раствор МаКлоП) активнее, чем в контроле. Моделирование условий позволило провести сравнительный анализ деятельности целлюлозоразрушающей микрофлоры при использовании микробных препаратов в течение двух лет. Установлено, что при одинаковых почвенно-климатических условиях использование микробных препаратов обеспечивает активизацию деятельности целлюлозоразрушающей микрофлоры.

Заключение. В результате проведенных исследований по изучению микробиологической активности торфяной почвы выработанных торфяных месторождений полевого опыта в течение двух вегетационных периодов установлено, что используемые биологические системы (микробно-растительные ассоциации) положительно влияют на численность и структуру микробного населения торфяной почвы в сторону увеличения ее биогенности по сравнению с контрольными участками (растительный компонент). Применение микробных препаратов в изучаемых дозах и по разработанной схеме на выработанных торфяных месторождениях при выращивании голубики сорта *Denis Blue* активизировало деятельность агрономически ценной микрофлоры, способствовало накоплению микробной биомассы, увеличению интенсивности микробиологических и ускорению минерализационных процессов органического вещества, а также накоплению аммонийного азота в торфяной почве в период вегетации растений.

Список использованных источников

1. Ананьева, Н. Д. Микробиологическая оценка почв в связи с самоочищением от пестицидов и устойчивостью к антропогенным воздействиям : автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.07 / Н. Д. Ананьева ; МГУ им. М. В. Ломоносова. – М., 2001. – 50 с.
2. Зинченко, М. К. Влияние системы удобрений на структуру и изменение отдельных физиологических групп микроорганизмов в серой лесной почве Владимирского Ополья / М. К. Зинченко, Т. С. Бибик, Л. Г. Стоянова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–3. – С. 552–557.
3. Красильников, Н. А. Микроорганизмы почвы и высшие растения / Н. А Красильников – М. : Изд-во АН СССР, 1958 – 463 с.
4. Методы почвенной микробиологии и биохимии. – М. : Изд-во МГУ, 1991. – 302 с
5. Мирчинк, Т. Г. Современные подходы к оценке биомассы и продуктивности грибов и бактерий в почве / Т. Г. Мирчинк, Н. С. Паников // Успехи микробиологии. – М. : Наука, 1985. – Т. 20. – С. 198–226.
6. Никитина, З. И. Микробиологический мониторинг наземных экосистем / З. И. Никитина. – Новосибирск : Наука, 1991. – 222 с.
7. Никитина, З. И. Экология микроорганизмов и санация почв техногенных территорий / З. И. Никитина, Г. П. Голодяев. – Владивосток : Дальнаука, 2003. – 176 с.
8. Попова, Ж. П. Основные микробиологические и биохимические методы исследования почв : метод. реком. / Ж. П. Попова. – Л., 1987. – 46 с.
9. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212-91. Введ. 01.07.93. – М., 1992. – 7 с.
10. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения обменной и активной кислотности: ГОСТ 11623–89. Введ. 01.01.90. – М., 1990. – 6 с.
11. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения нитратного азота: ГОСТ 27894.4-88. Введ. 01.01.90. – М., 1990. – 6 с.
12. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения аммиачного азота: ГОСТ 27894.3-88. Введ. 01.01.90. – М., 1989. – 11 с.
13. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм фосфора: ГОСТ 27894.5-88. Введ. 01.01.90. – М., 1989. – 8 с.
14. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм калия: ГОСТ 27894.6-88. Введ. 01.01.90. – М., 1989. – 5 с.
15. Conrad, R. 1995. Soil microbial processes involved in production and consumption of atmospheric trace gases / R. Conrad // Adv. Microb. Ecol. 14:207–250.
16. АгроАрхив [Электронный ресурс] // Сельскохозяйственные материалы. – 2014 г. – Режим доступа: <http://agroarchive.ru/sistema-udobreniya/877-gumus-i-azot-v-pochvah.html>. – Дата доступа: 11.04.2018.

References

1. Ananeva N. D. *Mikrobiologicheskaya otsenka pochv v svyazi s samoochischeniem ot pestitsidov i ustoychivostyu k antropogennym vozdeystviyam. Avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk.* [The microbiological activity of soils in connection with pesticides self-purification and resistance to anthropogenic impact. Dr. biol. sci. diss]. MGU named after M. V. Lomonosova. Moscow, 2001, 50 p. (in Russian).
2. Zinchenko M. K., Bibik T. S., Stoyanova L. G. *Vliyanie sistemy udobreniy na strukturu i izmenenie otdelnyih fiziologicheskikh grupp mikroorganizmov v seroy lesnoy pochve Vladimirskogo Opolya* [The influence of fertilization system on the structure and change of the separate physiological groups of microorganisms in the grey forest soil of Vladimirskoe Opolje]. *Fundamentalnye issledovaniya = Fundamental Research*, 2014, no. 12–3, pp. 552–557 (in Russian).
3. Krasilnikov N. A. *Mikroorganizmy pochvy i vysshie rasteniya* [Soil microorganisms and the highest plants]. Moscow, AN SSSR Publ., 1958, 463 p. (in Russian).
4. *Metodyi pochvennoy mikrobiologii i biohimii.* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Moscow, MGU Publ., 1991, 302 p. (in Russian).
5. Mirchink T. G., Panikov N. S. *Sovremennye podhody k otsenke biomassi i produktivnosti gribov i bakteriy v pochve* [Modern approaches to the estimation of biomass and the productivity of mushrooms and bacteria in soils]. *Uspehi mikrobiologii = Microbiology success*. Moscow, Nauka Publ., 1985, vol. 20, pp. 198–226. (in Russian).
6. Nikitina Z. I. *Mikrobiologicheskiy monitoring nazemnyih ekosistem* [Microbiological monitoring of land ecosystems]. Novosibirsk, Science, 1991, 222 p. (in Russian).
7. Nikitina Z. I., Golodyaev G. P. *Ekologiya mikroorganizmov i sanatsiya pochv tehnogennyih territoriy* [Microorganisms ecology and the soil sanitation of technogenic territories]. Vladivostok, Dalnauka Publ., 2003, 176 p. (in Russian).
8. Popova Zh. P. *Osnovnye mikrobiologicheskie i biohimicheskie metody issledovaniya pochv: metod. rekom.* [The main microbiological and biochemical methods of soils research: guidelines]. Leningrad, 1987, 46 p. (in Russian).
9. *Pochvy. Opredelenie gidroliticheskoy kislotnosti po metodu Kappena v modifikatsii TsNAO: GOST 26212-91, Vved. 01.07.93* [State Standard 26212-91. Soils. The determination of hydrolytic acidity on Kappena method in TsNAO modification]. Moscow, 1992, 7 p. (in Russian).
10. *Torf i produkty ego pererabotki dlya selskogo hozyaystva. Metodyi opredeleniya obmennoy i aktivnoy kislotnosti: GOST 11623-89. Vved. 01.01.90* [State Standard 11623-89. Peat and the products of its proceeding for agriculture. The methods of active acidity determination]. Moscow, 1990, 6 p. (in Russian).
11. *Torf i produkty ego pererabotki dlya selskogo hozyaystva. Metodyi opredeleniya nitratnogo azota : GOST 27894.4-88. Vved. 01.01.90* [State Standard 27894.4-88. Peat and the products of its proceeding for agriculture. The methods of nitrate nitrogen determination]. Moscow, 1990, 6 p. (in Russian).
12. *Torf i produkty ego pererabotki dlya selskogo hozyaystva. Metodyi opredeleniya ammiachnogo azota: GOST 27894.3-88. Vved. 01.01.90* [State Standard 27894.3-88 Peat and the products of its proceeding for agriculture. The methods of ammonia nitrogen determination]. Moscow, 1989, 11 p. (in Russian).
13. *Torf i produkty ego pererabotki dlya selskogo hozyaystva. Metodyi opredeleniya podvizhnyih form fosfora: GOST 27894.5-88. Vved. 01.01.90* [State Standard 27894.5-88 Peat and the products of its proceeding for agriculture. The methods of the mobile forms of phosphorus determination]. Moscow, 1989, 8 p. (in Russian).
14. *Torf i produkty ego pererabotki dlya selskogo hozyaystva. Metodyi opredeleniya podvizhnyih form kaliya: GOST 27894.6-88. Vved. 01.01.90* [State Standard 27894.6-88 Peat and the products of its proceeding for agriculture. The methods of the mobile forms of potassium determination potassium]. Moscow, 1989, 5 p. (in Russian).
15. Conrad R. 1995. Soil microbial processes involved in production and consumption of atmospheric trace gases. *Adv. Microb. Ecol.* 14:207–250.
16. AgroArhiv [Electronic recourse]. *Celskohozyaystvennyie materialyi.* 2014. Available at : <http://agroarchive.ru/sistema-udobreniya/877-gumus-i-azot-v-pochvah.html> (Accessed 28 April 2011) (in Russian).

Информация об авторах

Картыжкова Лилия Евгеньевна – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник, Ин-т микробиологии НАН Беларусь (ул. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: Liliya_Kartyzhova@mail.ru

Алеценкова Зинаида Михайловна – д-р биол. наук, гл. науч. сотрудник, Ин-т микробиологии НАН Беларусь (ул. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: aleschenkova@mbio.bas-net.by

Information about the authors

Liliya E. Kartyzhova – Ph.D. (Biology), Leading Researcher, Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Kuprevich Str. 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Liliya_Kartyzhova@mail.ru

Zinaida M. Aleschenkova – D.Sc. (Biology), Principal Researcher, Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Kuprevich Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: aleschenkova@mbio.bas-net.by

Короленок Наталья Васильевна – мл. науч. сотрудник, Ин-т микробиологии НАН Беларуси, (ул. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Республика Беларусь)

Яковлев Александр Павлович – д-р биол. наук, доцент, зав. лабораторией, Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

Булавко Галина Ивановна – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник, Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: bulavkog@mail.ru

Антохина Светлана Павловна – мл. науч. сотрудник, Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: antohina_lana@mail.ru

Соколова Тамара Владимировна – канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, д. 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: tomsok49@tut.by

Сосновская Наталья Евгеньевна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, д. 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: natalisosnov@mail.ru

Пехтерева Виктория Станиславовна – науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, д. 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: pehvik@jandex.ru

Natalia V. Korolyonok – Junior Researcher, Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Kuprevich Str. 220141, Minsk, Republic of Belarus)

Alexsandr P. Yakovlev – D.Sc. (Biology), Assistant Professor, Head of the Laboratory, Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

Galina I. Bulavko – Ph.D. (Biology), Leading Researcher, Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bulavkog@mail.ru

Svetlana P. Antokhina – Junior Researcher, Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antohina_lana@mail.ru

Tamara V. Sokolova – Ph.D. (Technical), Assistant Professor, Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tomsok49@tut.by

Nataliya E. Sosnovskaya – Ph.D (Technical), Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: natalisosnov@mail.ru

Victoriya S. Pehtereva – Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pehvik@jandex.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЯ КАТАЛИЗАТОРОВ ПРИ ПИРОЛИЗЕ НИЗИННОГО ТОРФА И БУРЫХ УГЛЕЙ

В. М. Дударчик, В. М. Крайко, Е. В. Ануфриева

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Статья посвящена проблеме термохимической переработки низкокачественных твердых горючих ископаемых, и в частности, влиянию различных по природе катализаторов на глубину конверсии органического вещества. Проведен сравнительный анализ влияния различных по природе солей переходных металлов – кобальта, никеля, железа и марганца на выход продуктов стационарного пиролиза из торфа и бурых углей, определен состав пиролизного газа и твердого остатка. Представленные результаты подтверждают выявленную тенденцию – ускорение процессов термораспада органического вещества торфа и бурого угля с использованием выбранных катализаторов, которые по глубине конверсии образуют следующий ряд: $\text{FeCl}_3 > \text{MnCl}_2 > \text{NiCl}_2 > \text{CoCl}_2$.

Таким образом, каталитический пиролиз позволяет увеличить степень конверсии органического вещества при сопоставимых энергозатратах на его проведение. Причем использование различных по природе катализаторов не только может увеличить глубину термического превращения органического вещества каустобиолитов, но и в зависимости от поставленной цели получать в преимущественной степени либо газовую составляющую, либо твердую фазу, в структуру которой может встраиваться определенный металл-катализатор (импрегнирование) и придавать ему заданные свойства с целью последующего формирования селективных свойств при получении из него активных углей.

Ключевые слова: катализаторы; пиролиз органического вещества; торф; бурые угли; пиролизный газ; твердый остаток.

Для цитирования. Дударчик В. М., Крайко В. М., Ануфриева Е. В. Сравнительный анализ эффективности действия катализаторов при пиролизе низинного торфа и бурых углей // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 236–243.

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF CATALYST ACTIONS DURING THE PYROLYSIS OF LOWLAND PEAT AND BROWN COAL

V. M. Dydarchik, V. M. Kraiko, E. V. Anyfrieva

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

Abstract. The article is devoted to the problem of the thermochemical proceeding of low-quality solid combustible minerals, and in particular, the influence of the catalysts of different nature on the depth of the conversion of organic matter. A comparative analysis of the influence of different by nature salts transitive metals – cobalt, nickel, iron and manganese on the output of stationary pyrolysis products from peat and brown coal was conducted, the composition of pyrolysis gas and solid residue was determined. The presented results confirm the revealed tendency – the acceleration of the thermal decomposition of organic matter in peat and brown coal using selected catalysts, which form the following series in the terms of a following raw: $\text{FeCl}_3 > \text{MnCl}_2 > \text{NiCl}_2 > \text{CoCl}_2$.

Thus, catalytic pyrolysis allows to increase the degree of organic matter conversion with comparable energy consumption for its implementation. Moreover, the use of the catalysts of different nature can not only increase the depth of the thermal transformation of the organic matter of caustobioliths, but depending on the goal, to obtain in a preferential degree either a gas component or a solid phase, in the structure of which a certain metal catalyst can be embedded (im-prregnation) and impart given properties for the purpose of the subsequent formation of selective properties when active carbons are obtained from it.

Key words: catalysts; the pyrolysis of organic matter; peat; brown coal; pyrolysis gas; solid residue.

For citation. Dydarchik V. M., Kraiko V. M., Anyfrieva E. V. The comparative analysis of the efficiency of catalyst actions during the pyrolysis of lowland peat and brown coal. *Nature Management*, 2019, no 1, pp. 236–243.

Введение. В мире в настоящее время активно проводятся работы по созданию и освоению экономичных процессов и способов комплексной переработки более низкокачественных твердых горючих ископаемых, биомассы и органосодержащих отходов в облагороженные твердые, жидкие и газообразные виды топлива и химического сырья.

В последние годы наметились основные пути термохимической трансформации органогенных материалов, включая как низкокачественные твердые горючие ископаемые, так и формирующиеся во

все больших объемах органогенные отходы, включая биомассу в топливо и продукты органического синтеза. Определяющим способом переработки таких отходов является термохимическое воздействие (пиролиз, газификация), в результате чего целевыми продуктами получаются новые более качественные виды химического сырья или топлива с максимально большой теплотой сгорания, что определяется природой материала, условиями процесса и в конечном итоге глубиной конверсии органического вещества. Одним из важных факторов, определяющих глубину конверсии процесса является использование различных по природе катализаторов.

Задачей данного исследования является сравнительный анализ эффективности действия различных по природе катализаторов на глубину конверсии выбранных для изучения органогенных материалов при стационарном пиролизе торфа и бурых углей. Глубину конверсии оценивали по балансу выхода продуктов термолиза.

Широко известно, что катализаторами разложения углеводородного сырья являются переходные металлы. Для ряда реакций, таких как изомеризация, полимеризация, присоединение, замещение и разложение, протекающих, как правило, по гетеролитическому механизму, широко применяются галогениды и некоторые другие соли металлов подгруппы железа [1–4].

Следует отметить, что наряду с этими катализаторами используются галогениды алюминия, олова, бора, цинка и другие соли, для которых весьма характерна склонность к комплексообразованию. Она во многом обусловлена незаполненностью d-оболочки у атомов и ионов указанных элементов. Катализаторы на основе переходных металлов способны располагать внутри своей координационной сферы различные лиганды, которые позволяют им изменять протекание реакции путем модификации структурных и электронных свойств субстрата, что и играет ключевую роль, определяя активность катализатора [4].

Для переходных металлов характерна способность к образованию в различных степенях окисления. Так, ион d-металла имеет девять валентных орбиталей, доступность которых позволяет ему образовывать как σ-, так и π- связи с другими молекулами или лигандами. Способность к быстрому переходу из одного состояния окисления в другое является важной в ходе протекания каталитической реакции.

Лиганды, входящие в координационную сферу, способны оказывать существенное влияние на каталитические свойства металла, поскольку существенно меняют свойства металла-комплексообразователя (эффективный заряд, донорно-акцепторную способность и др.), причем некоторые лиганда могут привести к потере активности [5].

Наличие в каталитической системе в качестве лигандов, например хлорид-анионов, ускоряет процесс термодеструкции. Это объясняется тем фактом, что ион хлора при повышенной температуре теряет электрон и превращается в радикал хлора, который, в свою очередь, выступает инициатором деструкции [6].

При высоких температурах возможно взаимодействие ионов d-металлов с субстратом, что может приводить к образованию реакционноспособных карбкатионов. Это имеет важное значение, поскольку при термодеструкции таких полимеров, как полиэфиры, полиуретаны и полиамиды, возможно изменение механизма протекания процесса термодеструкции с радикального на ионный. Изменение основного механизма термодеструкции полимера с радикального на ионный может способствовать увеличению скоростей распада полимеров, содержащих полярные функциональные группы в основной полимерной цепи [5].

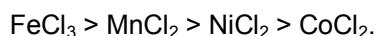
Каталитическую активность в процессах температурного разрушения органогенного сырья проявляют не только соединения металлов подгруппы железа, но также чистые металлы и их оксиды. Например, никель часто встречается как компонент катализаторов деструктивного гидрирования и гидрогенолиза по C–C связи, при этом крекинг замещенных цикланов и ароматических углеводородов сопровождается процессами изомеризации цикла и дегидрирования (в случае цикланов). В отличие от гидрогенолиза с разрывом C–C связи деструктивное гидрирование по C–O связям катализируется скелетным никелем без носителей и довольно легко протекает в эпокси соединениях, эфирах простых и сложных, лактонах [7]. Деструктивное гидрирование различных углеводородов, кислородо- и серосодержащих веществ катализируется также железными и кобальтовыми катализаторами (индивидуальными или на носителях) при повышенных температурах [8].

В общем, активность солей данных элементов несколько выше, чем чистых металлов без носителей, однако при выборе оптимальной каталитической системы необходимо учитывать множество параметров, таких как влияние аниона, носителя, подложки и т. д. Скорее всего, каталитические свойства хлоридов металлов подгруппы железа в процессе пиролиза полимерного корда будут существенно изменяться в зависимости от электронного строения. Хлориды металлов подгруппы железа обладают различной электроотрицательностью по Л. Полингу (табл. 1), поэтому их каталитические свойства могут также существенно различаться.

Экспериментальная часть. Для оценки катализитического влияния солей металлов на процесс пиролиза твердых горючих ископаемых были использованы образцы низинного торфа месторождения Туршовка–Чертово зольностью 10,2 %, и объединенная пробы бурых углей Житковичского месторождения зольностью 24,3 %. В качестве катализитических добавок были использованы хлориды переходных металлов – кобальта, никеля, марганца и железа.

Подготовка образцов к эксперименту заключалась в измельчении и усреднении горючих компонентов, затем внесении рассчитанного количества катализатора в виде раствора в образец, тщательном перемешивании и затем высушивания до естественной влажности. Доза внесения катализатора во всех случаях составляла 2 % исходной соли на естественной влажности каустобиолит. При пересчете на чистый металл дозы внесения были следующие: по кобальту и никелю – 0,90 %, по марганцу – 0,56 и по железу – 0,42 %. Пиролиз подготовленного образца проводился при двух температурах: 550 °C и 700 °C. В результате были получены количественные параметры выхода продуктов пиролиза (табл. 2) и состав пиролизного газа (табл. 3). Сравнительный анализ действия катализаторов на процесс пиролиза представлен на рис. 1–2.

Анализ полученных данных показывает, что в зависимости от используемого катализатора можно варьировать получением того или иного продукта пиролиза. Так, на выход коксозольного остатка при температуре 550 °C из выбранных солей в наибольшей степени влияет добавка хлорида железа, затем – марганца и кобальта. С целью получения большего выхода пиролизного газа эффективность действия катализаторов располагается в ряд



Для процесса пиролиза при температуре 700 °C картина несколько иная. Выход коксозольного остатка наибольший при использовании соли никеля, затем железа и марганца. Для получения при данных условиях пиролизного газа наибольший эффект достигается для хлорида железа. Следует отметить, что указанные качественные различия в количественном выражении несущественны и различаются на 1–2 %.

Таблица 1. Физико-химические свойства металлов подгруппы железа

Table 1. Physical and chemical peculiarities of the metals of iron subgroup

Параметр	Ni		Co		Fe	
	эВ	кДж/моль	эВ	кДж/моль	эВ	кДж/моль
Сродство к электрону	1,156	111,54	0,662	63,87	0,151	45,57
Энергия разрыва связи и межатомное расстояние для хлоридов (II)	кДж/моль		кДж/моль		кДж/моль	
	$377 \pm 6,7$		$337,6 \pm 6,7$		$329,7 \pm 6,7$	
Электроотрицательность	1,91		1,88		1,83	

Таблица 2. Выход продуктов катализитического пиролиза торфа, с добавками хлоридов металлов

Table 2. The input of the catalytic pyrolysis of peat with the additions of metal chlorides

№ п/п	Образец	Жидкие (смола + подсмольная вода)		Коксозольный остаток		Газ	
		550 °C	700 °C	550 °C	700 °C	550 °C	700 °C
1	Исходный торф	27,8	28,7	50,8	43,2	21,4	28,1
2	Торф + 2 % кат. CoCl_2	27,8	29,7	51,6	43,4	20,6	26,9
3	Торф + 2 % кат. NiCl_2	28,15	27,6	50,1	46,1	21,8	26,3
4	Торф + 2 % кат. $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	25,6	28,2	51,8	43,9	22,6	27,9
5	Торф + 2 % кат. $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	24,7	26,4	53,6	44,3	21,7	29,3

В табл. 3 представлен состав газа каталитического пиролиза торфа в неподвижном слое. Полученные результаты показывают, что по сравнению с исходным торфом наблюдается незначительная разница в действии катализаторов.

По теплотворной способности чуть большие значения зафиксированы у горючих газов пиролиза торфа с использованием добавок хлоридов марганца и железа. Наибольший выход пиролизного газа зафиксирован для хлорида железа при температуре 700 °С. Пиролизный газ также несколько отличается по соотношению компонентов и, соответственно, по теплоте сгорания. Так, наибольшая теплота сгорания обнаружена у газа, полученного при температуре 700 °С с использованием железного и марганцевого катализаторов.

Никелевый и кобальтовый катализаторы в данном случае были менее эффективны. Для сравнительной оценки воздействия выбранных катализаторов на твердые ископаемые различной природы были проведены исследования также на буром угле (БУ) Житковичского месторождения.

Результаты исследования представлены в табл. 4 и 5.

При использовании в качестве исходного сырья бурого угля в целом подтверждена обнаруженная тенденция для каталитического пиролиза торфа.

Наибольшее влияние на процессы термохимического разложения из выбранных катализаторов оказывает хлорид железа и марганца. Причем, следует учесть, что вносимые количества этих веществ в пересчете на металл существенно ниже, чем для вносимых кобальта и никеля.

На рис. 1 и 2 представлены диаграммы выхода продуктов пиролиза в массовых процентах в зависимости от использованного катализатора.

Таблица 3. Состав газа каталитического пиролиза торфа с добавками хлоридов металлов

Table 3. The content of the gas of catalytic peat pyrolysis with the addition of metal chlorides

Проба топлива	Температура пиролиза, °C	Состав газа пиролиза, об. %					d, г/л	Q, ккал/нм³		
		Компонент								
		CO ₂	C _n H _m	CO	H ₂	CH ₄				
Исходный торф	550	59,9	1,5	8,9	18,9	10,8	1,4109	1885		
	700	42,8	1,2	15,0	26,0	15,0	1,1823	2569		
Торф + 2 % кат. CoCl ₂	550	66,4	0	11,1	14,6	7,9	1,5195	1386		
	700	41,5	1,2	13,1	28,6	15,6	1,1394	2629		
Торф + 2 % кат. NiCl ₂	550	61,0	1,8	18,2	14,5	4,5	1,5044	1561		
	700	42,7	1,2	17,4	27,2	11,5	1,1865	2375		
Торф + 2 % кат. MnCl ₂	550	61,1	1,8	9,2	15,2	12,7	1,4537	2002		
	700	41,1	1,2	12,9	28,7	16,1	1,1319	2668		
Торф + 2 % кат. FeCl ₃	550	61,8	1,9	9,3	14,6	12,4	1,4675	1978		
	700	43,1	1,4	13,0	26,0	16,5	1,2118	2663		

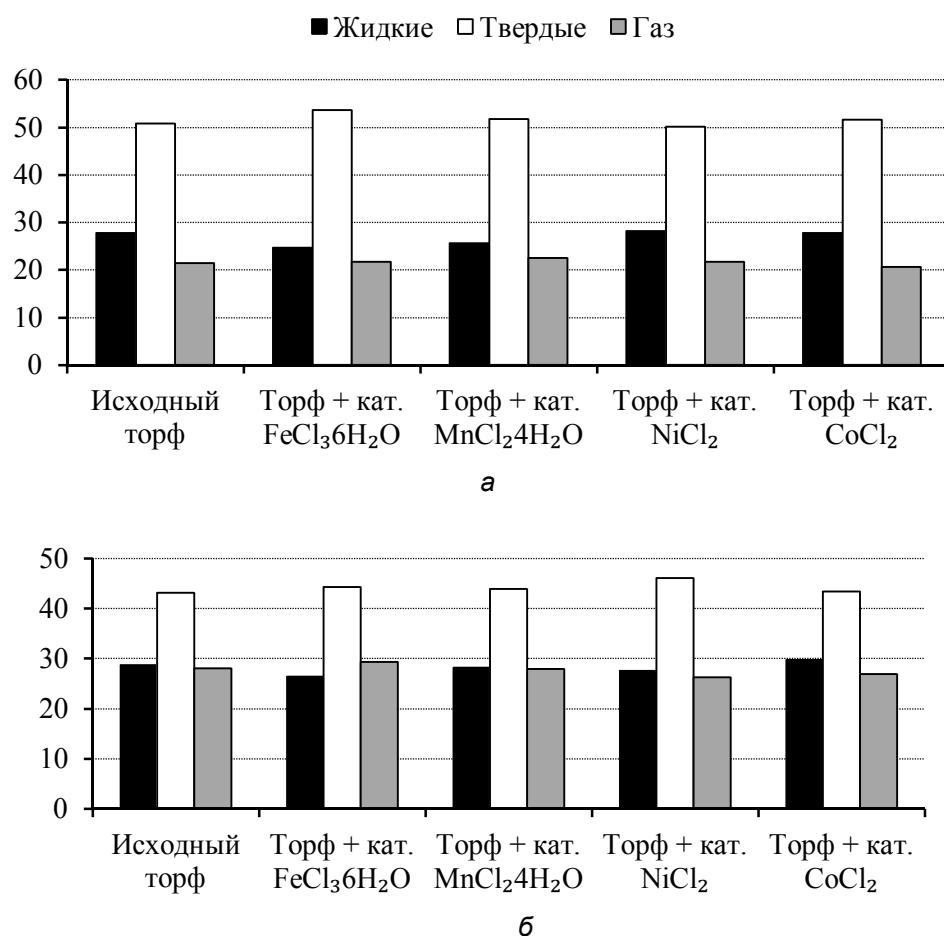
Таблица 4. Выход продуктов пиролиза (%) общей пробы бурого угля (БУ) Житковичского месторождения с добавками катализатора

Table 4. Input of pyrolysis products (%) of the total sample of brown coal (BC) of Zhitkovichi deposit with the addition of catalyst

Образец	Жидкие продукты (смола + вода)		Коксозольный остаток		Газ	
	550 °C	700 °C	550 °C	700 °C	550 °C	700 °C
Исходный БУ	14,6	15,0	63,7	55,1	21,8	29,8
БУ + 2 % кат. CoCl ₂	11,0	11,7	68,5	59,9	20,5	28,4
БУ + 2 % кат. NiCl ₂	12,4	14,6	66,9	58,4	20,7	27,0
БУ + 2 % кат. MnCl ₂ ·4H ₂ O	15,7	15,4	61,7	56,4	22,6	28,2
Торф + 2 % кат. FeCl ₃ ·6H ₂ O	12,0	12,4	65,4	59,6	22,6	28,0

Таблица 5. Состав газа пиролиза проб бурого угля с добавками катализатора**Table 5. Content of the gas of the pyrolysis of the samples of brown coal with the addition of catalyst**

Проба топлива	Температура пиролиза, °C	Состав газа пиролиза, об. %					d, г/л	Q, ккал/нм ³		
		Компонент								
		CO ₂	C _n H _m	CO	H ₂	CH ₄				
Исходный БУ	550	64,2	1,6	13,2	9,5	11,5	1,5468	1848		
	700	50,3	1,2	14,4	21,3	12,8	1,3018	2243		
БУ + 2 %кат. CoCl ₂	550	64,8	1,5	10,5	12,9	10,3	1,5195	1737		
	700	48,4	1,3	11,6	24,0	14,7	1,2476	2402		
БУ + 2 %кат. NiCl ₂	550	63,2	1,2	12,4	15,7	7,5	1,4887	1587		
	700	47,8	0,9	14,3	24,5	12,5	1,2463	2255		
БУ + 2 %кат. MnCl ₂ ·4H ₂ O	550	68,4	1,4	10,0	10,2	10,0	1,5790	1613		
	700	52,8	1,0	12,8	20,9	12,5	1,3258	2130		
БУ + 2 %кат. FeCl ₃ ·6H ₂ O	550	67,5	1,3	11,7	9,7	9,8	1,5788	1621		
	700	47,8	1,0	14,0	24,0	13,2	1,2501	2306		

**Рис. 1. Диаграмма выхода продуктов пиролиза (мас.%) исходного торфа и торфа с добавками катализаторов при температуре пиролиза 550 °C (а) и 700 °C (б)****Fig. 1. Diagram of the input of the pyrolysis products (mas.%) of initial peat and peat with the additives of catalysts during the pyrolysis temperature of 550 °C (a) и 700 °C (b)**

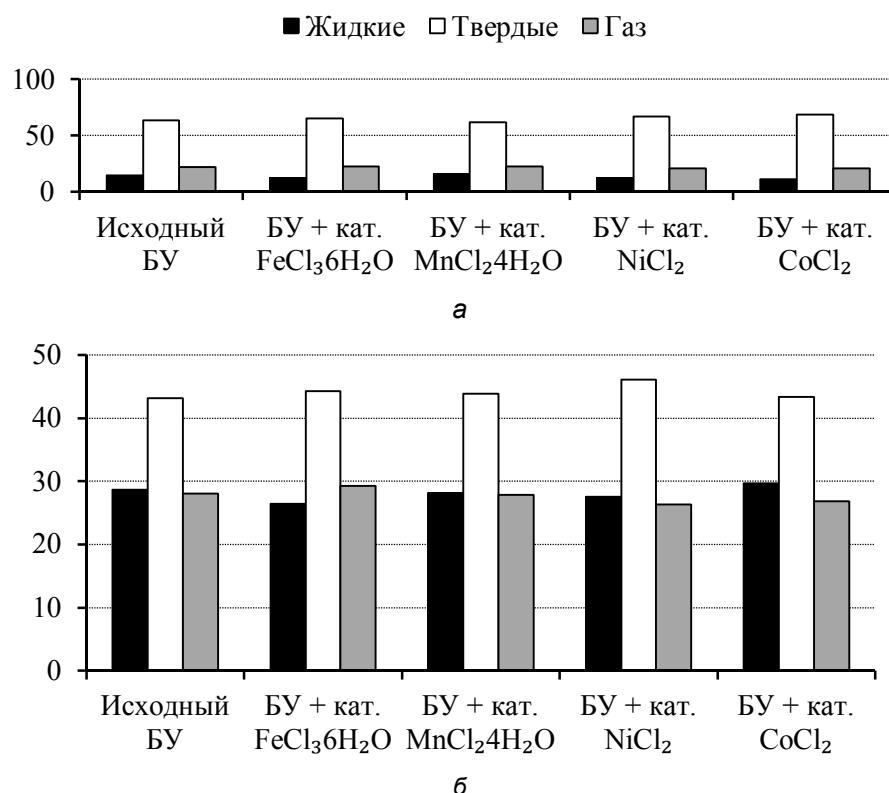
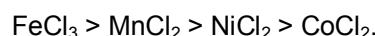


Рис. 2. Диаграмма выхода продуктов пиролиза исходного бурого угля и бурого угля (БУ) с добавками катализаторов при температуре пиролиза 550 °С (а) и 700 °С (б)

Fig. 2. Diagram of the input of the pyrolysis of initial brown coal and brown coal (BC) with the addition of catalyst with the pyrolysis temperature of 550 °C (a) and 700 °C (b)

Представленные результаты наглядно подтверждают выявленную тенденцию – незначительное ускорение процессов термораспада органического вещества торфа и бурого угля с использованием неорганических катализаторов. Причем, выявлен ряд по степени воздействия, имеющий вид



Эффективность действия катализаторов на процесс термораспада торфа и бурого угля была оценена качественно. Наименьшую активность проявила добавка CoCl_2 и ее приняли за эталон. В сравнении с ней действия других добавок оценили значками плюс (с учетом количества внесенной добавки соли) по схеме: + – чуть выше нормы; ++ – выше нормы; +++ – существенно выше нормы (табл. 6).

Таблица 6. Сравнение эффективности действия катализаторов на процесс разложения торфа и бурых углей в процессе пиролиза

Table 6. Comparison of the effectiveness of the action of catalysts on the decomposition of peat and brown coal in the process of pyrolysis

Добавка		Торф				Бурый уголь			
		550 °C		700 °C		550 °C		700 °C	
соль	доля металла, %	Стационарный слой сырья							
		кокс	газ	кокс	газ	кокс	газ	кокс	газ
CoCl_2	0,90	–	–	–	–	–	–	–	–
NiCl_2	0,90	–	+	++	–	–	+	–	–
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0,54	+	++	–	+	–	++	+	–
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,42	++	+	+	++	–	+	+	–

Таким образом, каталитический пиролиз позволяет увеличить степень конверсии органического вещества при сопоставимых энергозатратах на его проведение. Причем использование различных по природе катализаторов не только может увеличить глубину термического превращения органического вещества каустобиолитов, но в зависимости от поставленной цели получать в преимущественной степени либо газовую составляющую, либо твердую фазу. Оба указанные продукты термоконверсии имеют свою ценность. Если пиролизные газы низкокачественных каустобиолитов можно рассматривать как удобный экологичный энергоноситель при сжигании в относительно небольших энергоустановках местного значения, то твердый остаток (кокс, полукохс) может быть востребован в качестве сырья для получения активных углей. Причем в процессе последующей активации для повышения качественных характеристик продукта свою роль может сыграть выбранный для пиролиза катализатор, который, будучи встроенным в процессе коксования в структуру твердого остатка (импрегнирование), придаст ему новые свойства, способствующие повышению сорбционной активности. При рассмотрении свойств и требований к активным углям необходимо по возможности с учетом сказанного и производить отбор тех или иных катализаторов. Для этого необходимо изучить эффективность действия различных по природе веществ, что является первым этапом исследования. На втором этапе предполагается изучить характер импрегнирования определенного металла в структуру образующегося при пиролизе кокса, особенности формирования на его основе активных центров, затем провести активацию водяным паром и получить сорбционные характеристики образовавшегося активного угля. Ценность получаемого твердого остатка пиролиза состоит в том, что в него в процессе пиролиза можно внедрять (импрегнировать) каталитические добавки, которые на стадии активации и получения активных углей могут служить центрами, на которых формируются структуры, обеспечивающие приданье углям особых селективных свойств применительно к поставленным задачам [8].

Если рассматривать твердый остаток с этих позиций, то следует более детально изучить структуру его поверхности, распределения катализатора в объеме, придаваемые им новые свойства, включая сорбционную активность, площадь поверхности и другие характеристики, присущие любому сорбенту включая и селективные на тот или иной поллютант.

Предполагается, что в зависимости от природы импрегнированного металла активный уголь может обладать селективными свойствами по отношению к различным загрязнителям жидких либо воздушных сред. В случае необходимости импрегнированный активный уголь может быть модифицирован с признаком ему узкоселективных свойств.

Список использованных источников

1. Катализ в промышленности ; пер с англ. / под ред. Б. Лич. – М. : Мир, 1986. – Т. 1. – 326 с. ; Т. 2. – 231 с.
2. Сеттерфилд, Ч. Практический курс гетерогенного катализа ; пер. с англ. / Ч. Сеттерфилд. – М. : Мир, 1984. – 520 с.
3. Накамура, А. Принципы и использование гомогенного катализа ; пер. с англ. / А. Накамура, М. Цуци. – М. : Мир, 1983. – 231 с.
4. Боресков, Г. К. Гетерогенный катализ / Г. К. Боресков. – М. : Наука, 1986. – 303 с.
5. Кузнецов, Б. Н. Катализ химических превращений угля и биомассы / Б. Н. Кузнецов. – Новосибирск : Наука, 1990. – 301 с.
6. Pyrolysis of wet cellulose containing biomass to produce hydrogen. Yokoyama, Shin-ya; Ogi Tomoko, Minowa Tomoaki. (Director General of Agency of Industrial Science and Technology, Japan). – Brit. UK Pat. Appl., 1997. – 14 p.
7. Bridgwater, A. V. A review of biomass pyrolysis and pyrolysis technologies / A. V. Bridgwater, S. A Bridge // Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilisation. – New York : Elsevier Science Publishing Co., 1991.
8. Новые подходы в переработке твердого органического сырья / Б. Н. Кузнецов [и др.]. – Красноярск : ИХПОС СО РАН, 1991. – 371 с.

References

1. *Kataliz v promyshlennosti. Pod red. B. Lich* [Catalysis in the industry]. Moscow, Mir Publ., 1986, vol. 1, 326 p. ; vol. 2, 231 p. (in Russian).
2. *Setterfield C. H. Prakticheskij kurs geterogennogo kataliza* [Practical course of heterogeneous catalysis]. Moscow, Mir Publ., 1984, 520 p. (in Russian).
3. *Nakamura A., Cucui M. Principy i ispol'zovanie gomogennogo kataliza* [Principles and use of homogeneous catalysis]. Moscow, Mir Publ., 1983, 231 p. (in Russian).
4. *Boreskov G. K. Geterogennyj kataliz* [Heterogeneous catalysis]. Moscow, Nauka Publ., 1986, 303 p.

5. Kuznecov B. N. *Kataliz himicheskikh prevrashchenij uglya i biomassy* [Catalysis of chemical transformations of coal and biomass]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1990, 301 p. (in Russian).
6. Pyrolysis of wet cellulose containing biomass to produce hydrogen. Yokoyama, Shin-ya; Ogi Tomoko, Minowa Tomoaki. (Director General of Agency of Industrial Science and Technology, Japan). Brit. UK Pat. Appl., 1997, 14 p.
7. Bridgwater A. V., Bridge S. A. A review of biomass pyrolysis and pyrolysis technologies. *Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilisation*, Elsevier Science Publishing Co., New York, 1991.
8. Kuznecov B. N., Shchipko M. L., Kuznecova S. A., Taraban'ko V. E. *Novye podhody v pererabotke tverdogo organicheskogo syr'ya* [New approaches are in processing of hard organic raw material]. Krasnoyarsk, IHPOS SO RAN Publ., 1991, 371 p. (in Russian).

Информация об авторах

Дударчик Владимир Михайлович – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: dudwm@tut.by

Крайко Валентина Михайловна – канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: vvakraiko@gmail.com

Ануфриева Елена Владимировна – науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: Lenaanufrieva5@rambler.ru

Information about the authors

Vladimir M. Dudarchyk – Ph.D. (Technical), Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: dudwm@tut.by

Valiantsina M. Kraiko – Ph.D. (Technical), Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: vvakraiko@gmail.com

Anufrieva W. Alena – Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: Lenaanufrieva5@rambler.ru

ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА «ПОЛИБАКТ» НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФЕРМЕНТИРУЕМОГО СУБСТРАТА

Г. А. Соколов¹, О. Г. Красноберская¹, Д. А. Феофанов², Е. А. Добринец¹

¹Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

²ЗАО «Струнные технологии», Минск, Беларусь

Аннотация. Приведены данные по влиянию микробиологического препарата «Полибакт» на агрохимические характеристики в процессе ферментации соломистого навоза КРС. Показано, что в субстрате произошло снижение содержания общего фосфора и общего и подвижного калия при одновременном увеличении содержания подвижного фосфора, общего и нитратного азота. Увеличение содержания гидролизуемой части субстрата происходило в основном за счет легкогидролизуемых и водорастворимых веществ.

Ключевые слова: микробиологический препарат; агрохимические характеристики; ферментирование; навоз.

Для цитирования. Соколов Г. А., Красноберская О. Г., Феофанов Д. А., Добринец Е. А. Влияние микробиологического препарата «Полибакт» на агрохимические характеристики ферментируемого субстрата // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 244–248.

THE IMPACT OF «POLYBACT» MICROBIOLOGICAL AGENT ON THE AGROCHEMICAL PROPERTIES OF THE FERMENTED SUBSTRATE

G. A. Sokolov¹, O. G. Krasnoberskaya¹, D. A. Feofanov², E. A. Dobrinets¹

¹Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

²«SkyWay technologies», Minsk, Belarus

Abstract. The data of «Polybact» microbiological agent impact on the agrochemical characteristics of straw manure of cattle during fermentation are given. It was established that the decrease of the total phosphorus and total and mobile potassium in the substrate is occurred, while simultaneously the content of mobile phosphorus, total and nitrate nitrogen was increased. The increase of the content of the hydrolysable part of the substrate was mainly due to easily hydrolysable and water-soluble substances.

Key words: microbiological agent; agrochemical characteristics; fermentation; manure.

For citation. Sokolov G. A., Krasnoberskaya O. G., Feofanov D. A., Dobrinets E. A. The impact of «Polibact» microbiological agent on the agrochemical properties of the fermented substrate. *Nature Management*, 2019, no 1, pp. 244–248.

Введение. За последние 10–15 лет произошло снижение содержания гумуса на пахотных землях более чем в 60 районах Беларуси, что является чрезвычайно серьезной проблемой не только экологического, но и хозяйственно-экономического порядка и потребует в будущем огромных материально-технических средств и ресурсов для восстановления баланса и уровня содержания гумуса в почве пашни, обусловленного природно-климатическими условиями. Потребность республики в органических удобрениях составляет свыше 55 млн т ежегодно при средней дозе внесения 9,1 т/га [1].

Проблемы дефицита гумуса в значительной мере возможно разрешить за счет вовлечения в активный хозяйствственный оборот имеющихся огромных запасов органических отходов животноводства и птицеводства, пищевой промышленности и ряда перерабатывающих производств, объемы которых в республике превышают 60 млн т [2], а также путем совершенствования технологий переработки названных отходов и созданием органических удобрений нового поколения – ферментированных, с повышенным содержанием гуминовых веществ и оптимизированных биологических, агрохимических и физико-химических свойств удобрительных материалов, которые характеризуются большей эффективностью действия и позволяют окупать большее плечо перевозок к месту внесения.

Для активизации органического вещества таких отходов чаще всего применяется компостирование – биологический процесс разложения органических составляющих при контролируемых аэробных условиях. В сравнении с нерегулируемым естественным процессом разложения органических материалов температура в специально подготовленных буртах может подниматься и варьировать от 25–40 °C на мезофильной фазе процесса и до 50–70 °C – на термофильной [3, 4].

Однако часто развитие процессов происходит в нежелательном направлении, снижающем эффективность агрономических свойств, например, неконтролируемая активизация деятельности денитрифицирующих микроорганизмов, приводящая к потерям молекулярного азота. Возможны также потери аммиачного азота от улетучивания. Биохимические процессы неизбежно вызывают потери некоторого количества органической массы, поэтому интенсивность и направленность развития таких процессов нуждается в соответствующем регулировании.

Перспективным направлением такого регулирования является биологическая и биомеханическая обработка, чтобы содержащиеся в субстрате сложные органические вещества через процесс их деструкции трансформировались в гумусоподобные вещества (вторичного происхождения), близкие по характеру природному гумусу. Кроме того, биомеханическая переработка методом ферментации органических отходов, по общему мнению, имеет существенные преимущества перед технологией вермикомпостирования по целому ряду причин и условий, включая качество конечного продукта.

Сложившаяся многолетняя практика приготовления торфоналивных компостов преимущественно бульдозерно-экскаваторной техникой не обеспечивает необходимых качества, однородности составов и их эффективности в целом. Ресурсные и энергетические затраты на приготовление и внесение таких удобрений остаются высокими, а окупаемость прибавкой урожайности сельскохозяйственных культур низкой и в ряде случаев не покрывает производственных издержек.

В отличие от такой практики, принудительная обработка ротор-культиватором является эффективным способом приготовления гомогенизированного субстрата с измельчением и равномерным перемешиванием (распределением в массе) соломы, навоза (твердых и жидких фракций с размером фракций до 3–15 мм), обогащением приготовляемого субстрата кислородом, что улучшает качество субстрата и ускоряет активный разогрев штабеля.

Объекты и методы исследования. В рамках проводимых исследований осуществляли ферментацию сельскохозяйственных органических отходов (соломистый навоз КРС) с использованием для ускорения процесса ферментации микробиологического препарата «Полибакт» на двух базовых предприятиях Пуховичского и Узденского районов Минской области для наработки биогумуса. Препарат разработан Институтом микробиологии НАН Беларуси и состоит из смеси штаммов спорообразующих бактерий рода *Bacillus*, штамма бактерий *Pseudomonas brassicacearum*, штамма азотфиксацирующих бактерий *Brevibacillus sp.* БИМ В-818 и фосфатомобилизующих бактерий *Bacillus megaterium* БИМ В-445.

Компостирование отходов проводили на открытых специально подготовленных площадках в штабелях (буртах). Рабочий раствор «Полибакта» готовили разбавлением 1 л препарата до 10 л на 10 т навоза. Гомогенизацию компостной массы и принудительную аэрацию осуществляли с помощью специализированного ворошителя «BACKHUS». Размеры штабеля определяли размерами рабочей части ворошителя: высота – 1,5 м, ширина – 3,0 м.

Процесс компостирования характеризуется крутым подъемом температуры до 68–73 °C и последующим постепенным спадом до 35–40 °C, что свидетельствует об уменьшении микробиологической и ферментативной активности, снижении содержания кислорода и заполнении свободного пространства субстрата углекислым газом, аммиаком, метаном, газообразными продуктами разложения ферментированного органического вещества и указывает на необходимость проведения следующего цикла перемешивания субстрата. После проведения каждого следующего приема аэрации процессы разогрева штабеля возобновляются. Завершение процесса ферментации определяется по незначительному повышению температуры после очередного перемешивания.

Отборы производили с шагом в три недели после закладки опыта, опыт 3 – с шагом в две недели.

Затем в образцах определяли содержание водорастворимых веществ (ВРВ), гуминовых веществ (ГВ), в том числе гуминовых и фульвокислот (ГК и ФК), легкогидролизуемых, трудногидролизуемых и негидролизуемых веществ (ЛГВ, ТГВ и НГВ), валовых и подвижных форм азота, фосфора и калия (табл. 1–3).

Результаты и их обсуждение. В опыте 2017 г. в результате воздействия микробного препарата «Полибакт» на ферментируемый субстрат в нем возросло содержание всех фракций ОВ, кроме ФК. Наиболее значительно выросло содержание ВРВ и ЛГВ (ВРВ – на 22,4 % относительно исходного субстрата, ЛГВ – на 49,4; ГВ – на 9,9, а ТГВ – на 4,7 %). Содержание ГК в конечном продукте (биогумусе) возросло на 38,5 % относительно исходного субстрата,

В опыте 2018 г. произошло снижение содержания ГВ за счет резкого снижения содержания ФК из-за плохих погодных условий и, как следствие, более длительного компостирования, но содержание ГК возросло на 0,9 % относительно исходного субстрата. Содержание ВРВ в конечном продукте (биогумусе) возросло на 173,9 % относительно исходного субстрата, ЛГВ – на 22,7; ТГВ – на 15,0 %.

Таким образом, увеличение содержания гидролизуемой части субстрата происходило в основном за счет ЛГВ и ВРВ.

Таблица 1. Групповой состав субстрата до и после ферментации, % на а.с.в.**Table 1. Group content of substrate before and after fermentation, % on a.d.s.**

Образец	ВРВ	ГВ			ЛГВ	ТГВ	НГВ
		всего	ГК	ФК			
<i>Опыт 2017 г.</i>							
До ферментации	7,6	8,4	3,5	4,9	8,7	4,3	51,0
После ферментации	9,3	31,2	18,7	12,5	13,0	4,5	42,0
<i>Опыт 2018 г.</i>							
До ферментации	2,3	25,2	11,6	13,6	9,7	4,0	58,8
После ферментации	6,3	17,8	11,7	6,1	11,9	4,6	59,4

Таблица 2. Агрохимическая характеристика ферментируемого субстрата (опыты 1, 2)**Table 2. Agrochemical characteristic of fermented substrate (experiments 1, 2)**

Образец	рН (KCl)	рН (H ₂ O)	Содержание валовых форм, % на а.с.в.			Содержание подвижных форм, мг/100 г а.с.в.					
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	N-NH ₄		
<i>Опыт 1</i>											
<i>1-й отбор</i>											
Контроль	5,1	5,6	1,80	1,08	1,36	598,3	1357,5	39,3	Следы		
Субстрат	5,7	6,3	2,16	1,04	1,87	594,1	1543,2	60,0	Следы		
<i>2-й отбор</i>											
Контроль	5,2	5,8	1,94	0,85	1,51	579,3	678,8	48,4	Следы		
Субстрат	5,9	6,5	2,40	0,99	1,83	714,2	891,1	62,9	Следы		
<i>Опыт 2</i>											
<i>1-й отбор</i>											
Контроль	7,79	8,49	1,92	1,12	1,52	746,7	1422,7	5,4	Следы		
Субстрат	7,67	8,51	1,98	1,05	1,53	375,8	1303,1	17,6	Следы		
<i>2-й отбор</i>											
Контроль	7,75	8,57	1,98	0,99	1,49	578,4	1194,8	7,10	Следы		
Субстрат	7,31	7,96	2,07	1,03	1,52	591,2	1367,2	32,03	Следы		

В опыте 1 при 1-м отборе содержание общих и подвижных форм азота и калия в субстрате было выше, чем в контроле, а фосфора, наоборот, немного ниже. Так, превышение над контролем по общему азоту составило 20,0 %, по общему калию – 37,5, по нитратному азоту – 52,7 и по подвижному калию – 13,7 %. Содержание общего и подвижного фосфора было ниже, чем в контроле, на 3,7 и 0,7 % соответственно.

При 2-м отборе субстрат превышал контроль по всем показателям. Так, превышение по общему азоту составило 23,7 %, по общему калию – 21,2, по общему фосфору – 16,5, по нитратному азоту – 30,0, по подвижному калию – 31,3 и по подвижному фосфору – 23,3 %.

В течение опыта 1 в субстрате произошло снижение содержания общего фосфора и общего и подвижного калия на 4,8, 2,1 и 42,3 % соответственно при одновременном увеличении содержания подвижного фосфора, общего и нитратного азота на 20,2, 11,1 и 4,8 % соответственно.

В опыте 2 также субстрат превышал контроль по всем показателям при 2-м отборе, но не так значительно, как в опыте 1. Так, превышение по общему азоту составило 4,5 %, по общему калию – 2,0, по общему фосфору – 4,0, по подвижному калию – 14,4 и по подвижному фосфору – 2,2 %. Только содержание нитратного азота в субстрате было выше, чем в контроле, на 350,7 %.

При 1-м же отборе опыта 2 отмечалось небольшое превышение над контролем общего азота и калия (на 3,4 и 0,7 % соответственно) и резкое – на 225,9 % – нитратного азота. Содержание общего и подвижного фосфора было ниже в субстрате на 6,3 и 49,6 % соответственно, а подвижного калия – на 8,4 %.

В течение опыта 2 в субстрате произошло снижение содержания общего фосфора и общего калия на 1,8 и 0,7 % соответственно при одновременном увеличении содержания подвижного фосфора и калия, общего и нитратного азота на 57,3, 4,9, 4,5 и 350,7 % соответственно.

В отличие от 1-го и 2-го опытов, 3-й опыт проводили в осенний период, что обусловило разницу в показателях и динамике.

В опыте 3 контроль превышал субстрат по всем показателям, кроме общего и подвижного фосфора, что может объясняться большей холодаустойчивостью фосфатомобилизующих бактерий.

Таблица 3. Агрохимическая характеристика ферментируемого субстрата (опыт 3)**Table 3. Agrochemical characteristic of fermented substrate (experiment 3)**

Образец	рН (KCl)	рН (H ₂ O)	Содержание валовых форм, % на а.с.в.			Содержание подвижных форм, мг/100г а.с.в.			
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NO ₃	N-NH ₄
<i>1-й отбор</i>									
Контроль	8,24	8,99	2,39	1,26	2,75	811,1	2755,0	41,3	Следы
Субстрат	8,24	9,08	2,22	1,63	2,30	972,2	2222,2	30,3	Следы
<i>2-й отбор</i>									
Контроль	7,84	8,36	2,12	1,10	2,05	762,6	2191,1	25,1	Следы
Субстрат	7,69	8,32	2,01	1,20	1,77	845,2	1741,0	21,4	Следы
<i>3-й отбор</i>									
Контроль	7,78	8,62	2,34	1,47	2,22	870,0	2030,0	57,3	Следы
Субстрат	7,74	8,55	2,17	1,43	2,08	870,2	1873,1	41,7	Следы

Показатели субстрата при 2-м отборе снизились на 9,5–29,4 %, а при 3-м отборе повысились относительно 2-го на 3,0–19,2 %, хотя и не достигли показателей 1-го отбора, составляя 84,3–97,7 % относительно него. Исключением являлся нитратный азот, содержание которого возросло к концу опыта на 37,6 %.

Можно сделать вывод, что применение микробного препарата «Полибакт» целесообразно в теплое время года.

Выводы. Под воздействием микробного препарата «Полибакт» в субстрате возрастает содержание подвижного фосфора, общего и нитратного азота при одновременном снижении содержания общего фосфора и обеих форм калия, что, вероятно, объясняется концентрированием элементов питания в связи с развитием процессов гумификации ферментируемого материала, с одной стороны, и его минерализацией, с другой, что происходит параллельно. В вариантах с использованием препарата «Полибакт» указанные различия прослеживаются более рельефно в сравнении с контрольным вариантом, что косвенно свидетельствует о более активном протекании процесса ферментации с его участием. Процессы нитрификации в субстратах с использованием «Полибакта» происходят более активно, о чем можно судить по более высокому содержанию нитратного азота в нем.

Увеличение содержания гидролизуемой части субстрата происходит в основном за счет ЛГВ и ВРВ (на 22,7–49,4 и 22,4–173,9 % относительно исходного субстрата).

Компостирование при низких положительных температурах приводит к снижению содержания всех форм NPK в течение первых двух недель, но к окончанию одного месяца опыта эти показатели увеличиваются, хотя и не достигают первоначального значения.

Список использованных источников

- Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2001–2004) / под ред. И. М. Богдевича ; Науч.-исслед. респ. унитарное предприятие «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси». – Минск, 2006. – 287 с.
- Научные основы использования в сельском хозяйстве торфа, сапропеля и продуктов их переработки / Г. А. Соколов [и др.] // Природопользование. – 2012. – Вып. 22. – С. 67–82.
- Bidlingmaier, W. Biologische Abfallverwertung / W. Bidlingmaier. – 2000. – 134 p.
- Insam, H. Microbiology of Composting / H. Insam, N. Riddech, S. Klammer. – 2002. – Pp. 43–51.

References

- Agrokhimicheskaya kharakteristika pochv selskohozyaistvennykh zemel Respybliki Belarus (2001–2004), pod red. I. M. Bogdevicha [The agrochemical characteristic of agricultural soils of Republic of Belarus]. Nauchno-issledovatel'skoye respublikanskoye unitarnoye predpriyatiye «Institut pochvovedeniya i agrokhimii NAN Belarusi» [Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise "The Institute for Soil Science and Agrochemistry"]. Minsk, 2006, 287 p. (in Russian).
- Sokolov G. A., Krasnoberskaya O. G., Simakina I. V., Gavrilchik N. S. Nauchnye osnovy ispolzovaniya v selskom khozyaistve torfa, sapropely i produktov ikh pererabotki [Scientific foundations of agricultural using of peat, sapropel and the products of theirs proceeding]. Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Prirodopolzovanie", 2012, Issue 22, pp. 67–82 (in Russian).
- Bidlingmaier W. Biologische Abfallverwertung. 2000, 134 p.
- Insam, H., Riddech N., Klammer S. Microbiology of Composting, 2002, pp. 43–51.

Информация об авторах

Соколов Геннадий Алексеевич – канд. с.-х. наук, доцент, вед. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: agrico@ecology.basnet.by

Красноберская Ольга Георгиевна – канд. с.-х. наук, ст. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: agrico@ecology.basnet.by

Добринец Елена Алексеевна – мл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: agrico@ecology.basnet.by

Феофанов Денис Александрович – микробиолог, ООО «Струнные технологии» (пр. Дзержинского, 104-2, оф. 703, 220116, г. Минск, Беларусь). E-mail: ecodenfeofanov@dmail.com

Information about the authors

Gennadi A. Sokolov – Ph.D. (Agricultural), Docent, Leading Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: agrico@ecology.basnet.by

Olga G. Krasnobreskaya – Ph.D. (Agricultural), Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: agrico@ecology.basnet.by

Elena A. Dobrinets – Junior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: agrico@ecology.basnet.by

Denis A. Feofanov – microbiologist, “SkyWay technologies” (104-2, of. 703, Dzerzhinski pr., 220116, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ecodenfeofanov@dmail.com

БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНАЯ КОРМОВАЯ ДОБАВКА С СОРБЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ПОРОСЯТ-ОТЪЕМЫШЕЙ

**А. Э. Томсон¹, Г. В. Наумова¹, С. А. Линкевич², Т. Ф. Овчинникова¹, Т. В. Соколова¹,
Н. А. Жмакова¹, Т. Я. Царюк¹, Н. Л. Макарова¹, Ю. Ю. Навоша¹, Н. Е. Сосновская¹,
В. С. Пехтерева¹, И. П. Фалиушына¹, А. А. Макеенко¹**

¹*Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь,*

²*РУП «Научно-практический центр НАН Беларусь по животноводству», Жодино, Беларусь*

Аннотация. Имеющийся научно-практический опыт свидетельствует о перспективности использования торфа и отходов переработки растительного сырья в качестве источника природных биологически активных соединений. Проведенные исследования по разработке состава биологически активной кормовой добавки с сорбционными свойствами позволили обосновать целесообразность применения малоразложившегося сфагнового торфа и отхода пивоваренного производства – ростков солода в качестве основных ее компонентов. Физико-химическая характеристика свидетельствует о высокой сорбционной активности новой кормовой добавки, а результаты научно-хозяйственных опытов – об эффективности ее применения с целью повышения продуктивности животных и предупреждения их болезней и падежа.

Ключевые слова: кормовая добавка; сфагновый торф; ростки солода; сапропель; сорбция; экструзия; прочность; водопоглощение.

Для цитирования. Томсон А. Э., Наумова Г. В., Линкевич С. А., Овчинникова Т. Ф., Соколова Т. В., Жмакова Н. А., Царюк Т. Я., Макарова Н. Л., Навоша Ю. Ю., Сосновская Н. Е., Пехтерева В. С., Фалиушына И. П., Макеенко А. А., Биологически активная кормовая добавка с сорбционными свойствами для поросят-отъемышей // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 249–262.

BIOLOGICALLY ACTIVE FEED ADDITIVE WITH SORPTION PROPERTIES FOR WEANING PIGS

**A. E. Tomson¹, G. V. Naumova¹, S. A. Linkevich², T. F. Ovchinnikova¹, T. V. Sokolova¹,
N. A. Zhmakova¹, T. Ya. Tsariuk¹, N. L. Makarova¹, Yu. Yu. Navosha¹, N. E. Sosnovskaya¹,
V. S. Pehtereva¹, I. P. Faliushyna¹, A. A. Makeenko¹**

¹*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,*

²*RUE "Scientific and practical center of the National Academy of Sciences of Belarus
on animal husbandry", Zhodino, Belarus*

Abstract. Available scientific and practical experience indicates prospects for peat and waste plant raw materials use as the source of natural biologically active compounds. Conducted research on the development of the composition of biologically active feed additives with sorption properties made it possible to substantiate the expediency of using low-decomposed sphagnum peat and brewing production waste - malt sprouts as its main components. The physicochemical characterization indicates high sorption activity of new feed additive, and the results of scientific and agricultural experiments indicate the effectiveness of its use in order to increase the productivity of animals and prevent their diseases and mortality.

Key words: feed addition; sphagnum peat; malt sprouts; sapropel; sorption; extrusion; strength; water sorption.

For citation. Tomson A. E., Naumova G. V., Linkevich S. A., Ovchinnikova T. F., Sokolova T. V., Zhmakova N. A., Tsariuk T. Ya., Makarova N. L., Navosha Yu. Yu., Sosnovskaya N. E., Pehtereva V. S., Faliushyna I. P., Makeenko A. A. Biologically active feed additive with sorption properties for weaning pigs. *Nature Management*, 2019, no 1, pp. 249–262.

Введение. Беларусь относится к регионам с развитым многоотраслевым животноводством, которое обеспечивает не только внутренние потребности страны, но и поставку разнообразной продукции на международный рынок.

Свиноводство – одна из основных и наиболее проблемных отраслей животноводства. В республике действуют более 100 крупных промышленных комплексов, на которых производится до 85 % всей свинины. Однако затраты на ее производство на 25–30 % превышают среднемировые показатели при недостаточно высоком качестве мяса [1].

Важнейшим фактором обеспечения высокой продуктивности животноводства является полноценное и сбалансированное кормление. При этом высокая эффективность кормления может быть достигнута только при учете возраста и физиологического состояния животных, когда на каждом этапе их содержания правильно подобраны корма и специальные кормовые добавки.

Сравнительно невысокая продуктивность свиноводства связана как с несбалансированностью кормовых рационов, так и с потерями поголовья от инфекционных заболеваний и от гибели поросят. Сложным и ответственным периодом в кормлении свиней является переход от молочного вскармливания к твердым кормам. Осложнения, возникающие в это время, оказывают значительное влияние на производственные показатели, так как именно в это время закладываются будущая продуктивность животного, его здоровье и способность противостоять инфекционным заболеваниям. Поэтому особое внимание необходимо уделять полноценному специальному кормлению поросят-отъемышей.

В период отъема в возрасте четырех недель у поросят значительно снижается активность лактазы – фермента, обеспечивающего усвоение молока, а активность других пищеварительных ферментов (протеаз, липаз, амилаз), участвующих в переваривании твердой растительной пищи, еще только начинает постепенно нарастать.

Кроме того, недостаточной является выработка соляной кислоты, из-за чего в желудке не может поддерживаться уровень кислотности, необходимый для переваривания новых кормов. Это приводит к снижению активности пепсина, неполному перевариванию корма, развитию патогенной микрофлоры и накоплению кишечных токсинов.

Все эти обстоятельства серьезно затрудняют переход к новому типу кормления и зачастую приводят к болезням и гибели поросят, смертность поросят-отъемышей достигает 10–15 % [2].

Для решения этой проблемы в настоящее время широко применяют антибиотики и ацидофикаторы (подкислители кормов), в качестве которых используют органические кислоты. Введение их в корм поросят вызывает его подкисление, что повышает усвояемость белков и подавляет развитие патогенных бактерий. Однако при всех неоспоримых достоинствах применение органических кислот имеет ряд существенных недостатков. Эти препараты вызывают у животных гастроэнтериты и язвы желудочно-кишечного тракта, а также оказывают кородирующее действие на оборудование кормоцехов [3]. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется поиску и применению более щадящих кормовых добавок, способных стимулировать пищеварение, влиять на состав микрофлоры в пищеварительном тракте, нейтрализовать действие токсинов, повышая тем самым выживаемость и продуктивность поросят-отъемышей.

Одним из способов решения указанной проблемы является введение в рацион поросят-отъемышей специальных кормовых добавок, обладающих энтеросорбционными свойствами. В последние годы в качестве таких добавок исследователи предлагают природные сорбенты (бентонит, вермикулит, сапропель), а также продукты переработки древесного сырья (лигнин, целлюлоза, активированный уголь) и вещества минеральной природы (алюмосиликаты, цеолиты) [4].

В качестве энтеросорбентов, применяемых в ветеринарии, до сих пор в основном используются пористые углеродные адсорбенты, в частности активированные угли различного происхождения. Существует большой класс природных силикатных сорбентов – глинистых минералов-алюмосиликатов, имеющих высокие адсорбционные и каталитические свойства. Дешевизна и практически неограниченные запасы глин делают экономически целесообразным их использование в качестве энтеросорбентов в ветеринарной практике.

К таким природным сорбентам относится и малоразложившийся сфагновый торф, который характеризуется высокой сорбционной емкостью по отношению к жидким, газообразным и твердым токсикантам, кроме того, он обладает низким pH, может подкислять среду в желудочно-кишечном тракте, а также оказывает выраженное биоцидное действие на патогенную микрофлору [5].

Сведения об использовании малоразложившегося сфагнового торфа и сфагнового мха в рационах сельскохозяйственных животных встречаются в публикациях уже с начала XX в. [6].

Сфагновый торф ранее использовали в качестве добавки к основному рациону животных в неурожайные годы из-за недостатка основных кормов. При этом было установлено, что добавка сфагнового торфа к основным кормам не только положительно влияет на продуктивность свиней, но и служит профилактикой против желудочно-кишечных заболеваний [7].

В настоящее время при наличии хорошей кормовой базы в животноводстве использование сфагнового торфа, как питательного компонента в рационах животных, не актуально, так как его питательность не превышает 0,20 кормовых единиц. Однако заслуживают внимания вопросы по его применению в качестве основы биологически активных добавок с сорбционными и биоцидными свойствами.

Имеющийся научный и практический опыт свидетельствует, что сфагновый торф является высокоэффективным сорбентом. Попадая в кишечник, он сорбирует и выводит из организма токсины, газы, ионы тяжелых металлов, патогенные микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности, способствует нормализации микрофлоры кишечника, снижает содержание в крови билируби-

на и мочевины, улучшает липидный обмен. Эта способность обусловлена его химической природой. Сорбционными центрами в торфе являются активные функциональные группы (карбоксильные, гидроксильные, метаксильные, карбонильные, фенольные и др.) гуминовых и фульвокислот, углеводного комплекса и лигнина. Водород в этих группах при благоприятных условиях способен замещаться другими катионами.

Сфагновый торф обладает также бактерицидным и противовоспалительным действием [7]. Углеводы торфа являются дополнительным источником энергии, а биологически активные компоненты, представленные органическими соединениями различных классов – спиртами, аминокислотами, широким спектром органических кислот, пектинами, фенолами, стеринами, гуминовыми веществами, нормализуют обмен веществ. Применение сфагнового торфа в кормлении животных позволяет предотвратить острые кишечные инфекции, заболевания печени, нарушения в обмене веществ [8, 9].

Ценным источником биологически активных соединений являются также ростки солода, которые образуются как отход на 11 пивоваренных и солодовенных предприятиях, расположенных во всех областях Беларуси, в количестве от 3 тыс. до 6 тыс. т в год. В них обнаружены в значительных количествах практически все аминокислотные компоненты белков, в том числе незаменимые, которые не синтезируются в организме животных, но необходимы для его жизнедеятельности. К их числу относятся валин, лейцин, изолейцин, треонин, метионин, лизин, фенилаланин, триптофан, гистидин и аргинин, а также биологически активные – аланин, треонин, пролин, тирозин, фенилаланин, лейцин, лизин, глицин, аргинин, глутаминовая и аспарагиновая кислоты [10].

Аминокислоты – очень ценный компонент кормов для животных. Недостаток любой из аминокислот приводит к нарушению синтеза белка и, как следствие, – к замедлению роста, резкому снижению естественной резистентности и даже к общей дистрофии животного [11]. Биологически активные компоненты ростков солода представлены также низкомолекулярными карбоновыми кислотами, ферментами, витаминами (C, PP, B₁, B₂, B₃, B₆, B₁₂ и E) и фенольными соединениями [12].

Наиболее существенную в количественном отношении группу биологически активных веществ ростков солода составляют меланоидины, которые образуются в процессе их сушки. Эти соединения обладают ростстимулирующими и мембранотропными свойствами, активизируют транспортные и энергетические процессы в клетках [13].

Таким образом, высокий потенциал биологической активности, сорбционные и антитоксические свойства свидетельствуют о перспективности использования малоразложившегося сфагнового торфа и отхода пивоваренного производства – ростков солода в качестве компонентов новой кормовой добавки для поросят-отъемышей.

Цель исследования – разработать на основе экологически чистого, доступного сырья новую биологически активную кормовую добавку с сорбционными свойствами для поросят-отъемышей, с целью повышения их продуктивности и сохранности поголовья.

Объекты и методы исследований. Для проведения исследований использовали ростки солода, предоставленные ОАО «Криница» (г. Минск) и торф, отобранный из штабелей, сформированных в 2016 г. на полях добычи торфяного месторождения «Радемье» (ОАО «Зеленоборское») в Минской области.

Выбор торфа, пригодного для наших целей, проводили на основании его ботанической характеристики, физико-химических свойств и сорбционной активности.

Для определения ботанического состава использовали атлас растительных остатков, встречающихся в торфе [14], и ГОСТ 21123–85 [15], степени разложения – ГОСТ 10650–72 [16].

Зольность сырья определяли типовым методом по ГОСТ 11306–83 [17], сжигая навеску исследуемого материала в муфельной печи при 800 ± 25 °C.

Для определения кислотности водной вытяжки навеску исследуемого материала помещали в стеклянный стакан, заливали дистиллированной водой в соотношении 1 : 5, перемешивали и выдерживали в течение 5–6 ч. Замер pH проводили при помощи иономера И-120.2.

Геоботаническая характеристика торфа показала, что у него невысокая степень разложения (15–20 %), в ботаническом составе преобладают (60 %) остатки мха *Sph. Magellanicum*.

Важно отметить, что этот торф отличается низким (не более 10 %) содержанием пущицы, что также является аргументом в его пользу, так как в составе этого растения в значительных количествах присутствуют алкалоиды, что опасно для животных.

Как один из показателей сорбционной способности торфа и кормовой добавки использовали водопоглощение (B, %), которое определяли по методике, изложенной в [18], и рассчитывали по формуле

$$B = [(m_t - m_n) / m_n] \cdot 100,$$

где m_t – масса образца после намокания, г; m_n – начальная масса образца до намокания, г.

Сорбционные свойства торфа и опытных образцов кормовой добавки оценивали также по поглотительной способности в отношении метиленового голубого в соответствии с ГОСТ 4453–74 и йода

(ГОСТ 6217–74), а также по величине сорбции ионов тяжелых металлов. Способность связывать ионы тяжелых металлов исследовали, используя эквимолярные растворы $Zn(CH_3COO)_2$, $Pb(CH_3COO)_2$, $Cu(CH_3COO)_2$, $Cd(CH_3COO)_2$. Содержание ионов металлов в растворах до и после сорбции оценивали методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе Сатурн-3П-1. Условия сорбции: исходная концентрация растворов – 0,005 М, рН – 6,0, объем исходного раствора – 50 мл, навеска воздушно-сухого сорбента – 0,5 г, температура – 18–20 °С.

На основании экспериментальных данных рассчитывали величину сорбции S (мг/г):

$$S = (C_{\text{исх}} - C_{\text{кон}}) \cdot V / m,$$

где $C_{\text{исх}}$ – исходная концентрация ионов металла в растворе, мг/мл; $C_{\text{кон}}$ – конечная концентрация ионов металла в растворе, мг/мл; V – объем раствора, мл; m – масса сорбента, г (в пересчете на сухое вещество).

Коэффициент распределения K_d (мл/г) в системе сорбент–сорбат определяли по сорбции в индивидуальных 0,005 М растворах тяжелых металлов и рассчитывали по формуле

$$K_d = S/C_{\text{кон}},$$

где S – величина сорбции, мг/г; $C_{\text{кон}}$ – конечная концентрация ионов металла в растворе, мг/мл.

Содержание карбоксильных групп определяли по общепринятой методике [19].

При отработке способа гранулирования новой кормовой добавки для исследования прочности гранул использовали методики, рекомендуемые Е. П. Семенским для оценки качества торфяной формируемой продукции (гранул, брикетов, пеллет) [20].

Испытания на стойкость к истиранию (виброустойчивость) гранул проводили с помощью лабораторного вибросепаратора (HAVER EML 200 digital plus).

В приборе применяли набор из четырех круглых сит диаметром 200 мм, которые имеют сетчатые квадратные ячейки с размерами 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 мм. В основании установлена чаша, собирающая пыль. Набор сит накрыт крышкой и закреплен на установочной площадке стяжными гайками. Площадка вместе с ситами приводится во вращательно-поступательное движение с одновременным встряхиванием в течение 10 мин.

По окончании рассева сита разбирали, каждую фракцию взвешивали с точностью до 0,001 г. Количественное содержание фракции в навеске выражали в процентах к общей массе. Номер фракций обозначали размерами сит, между которыми она была собрана, например 2/1, 1/0,5 и т.д.

Стойкость к истиранию (виброустойчивость) оценивали по содержанию фракции пыли (0,25/0).

Эффективность новой кормовой добавки испытана в лаборатории кормления свиней РУП «Научно-практический центр НАН Беларусь по животноводству» в научно-хозяйственных опытах на поросятах-отъемышах.

Всех подопытных животных кормили стандартными полнорационными комбикормами СК-16. К рациону опытных групп вводили добавку сфагнового торфа или опытный образец новой кормовой добавки. Для этого формировали группы поросят по 20 голов в каждой. Кормление поросят было четырехкратным, согласно технологии, принятой на комплексе. Торф и добавки на его основе давали 2 раза в сутки при утреннем (первом) и вечернем (последнем) кормлении, добавляя в стандартный корм в количестве 2 %.

В ходе научно-хозяйственного опыта учитывали:

- химический состав и питательную ценность опытных комбикормов по общепринятым методикам;
- изменение живой массы поросят группы добрачивания;
- расход кормов (контрольное кормление).

При расчете экономической эффективности использования рационов учитывали следующие показатели:

- общую стоимость потребленных по периодам опыта комбикормов;
- затраты корма на единицу прироста живой массы.

Экспериментальные данные обрабатывали методом биометрической статистики по П. Ф. Рокицкому [21].

Экономическую эффективность применения новой кормовой добавки определяли по стоимости дополнительно полученной продукции за время опыта в расчете на одну голову.

Результаты исследования. При разработке базового состава новой кормовой добавки принимали во внимание как особенности кормления поросят-отъемышей, так и имеющийся опыт по скармливанию отдельных материалов, их состав, свойства, совместимость в одной композиции и доступность.

Учитывая вышесказанное, в качестве основных компонентов биологически активной кормовой добавки с сорбционными свойствами выбраны и исследованы широко распространенный в Беларуси малоразложившийся сфагновый торф и отход пивоваренного производства – ростки солода.

С целью повышения привлекательности кормовой добавки для поросят было решено ввести в композицию небольшое количество сухого молока (ТУ РБ 415.95) следующего состава: 25 % жира, 24 % белка и 39 % углеводов.

При получении опытных образцов кормовой добавки проводили предварительную подготовку основных ее компонентов. Из сфагнового торфа путем отсея удаляли волокна пушицы и другие крупные включения, а из ростков солода – острые остья ячменя, способные травмировать желудочно-кишечный тракт поросят.

Все компоненты помещали в смеситель в соотношении: торф – 85 %, ростки солода – 10 %, сухое молоко – 5 % и тщательно перемешивали до однородной массы.

Физико-химическая характеристика опытного образца кормовой добавки и ее компонентов представлена в табл. 1.

Как видно из приведенных данных, сфагновый торф отличается высокой влажностью 52,5 %, малой зольностью – 4,6 % и кислой реакцией среды водной вытяжки – pH 3,3. Для ростков солода также свойственно низкое содержание минеральных веществ – 2,3 %, но pH водной вытяжки значительно выше (6,20), а влажность не превышает 12,8 %. Важным свойством сфагнового торфа, которое характеризует его способность к сорбции, является высокое водопоглощение (420 %). Введение в состав добавки ростков солода и сухого молока незначительно влияет на этот показатель, снижая его до 415 %. Однако присутствие ростков солода заметно оказывается на кислотности целевого продукта, pH водной вытяжки кормовой добавки повышается до 5,74, приближаясь к нейтральной реакции среды. Сорбционные свойства торфа и опытного образца кормовой добавки оценивали также по поглотительной способности в отношении метиленового голубого и катионов тяжелых металлов (S, мг/г).

Способность избирательно сорбировать ионы тяжелых металлов определяли по величине значений коэффициентов распределения K_d , мл/г.

Характеристика сорбционных свойств торфа *Sph. Magellanicum* (15–20 %) и опытного образца новой кормовой добавки представлена в табл. 2.

Таблица 1. Физико-химическая характеристика опытного образца кормовой добавки и ее компонентов

Table 1. Physic-chemical characteristics of feed additive sample and its components

Образец	Водопоглощение, %	Зольность А ^c , %	pH водной вытяжки	Влажность, %
Сфагновый торф, R = 15–20 %	420	4,6	3,30	52,50
Ростки солода	–	2,3	6,20	12,80
Сфагновый торф + ростки солода + сухое молоко	415	4,4	5,74	47,80

Таблица 2. Сорбционные свойства и избирательность образцов торфа *Sph. Magellanicum* и кормовой добавки

Table 2. Sorption properties and selectivity of feed additive samples

Образец	COO ⁻ – группы, мг-экв/г	$S, \frac{\text{мг/г}}{\text{мг - экв/г}}$					$K_d, \text{мл/г}$			
		Метиленовый голубой	Pb ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Cd ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	Pb ²⁺	Cd ²⁺
Торф участка добычи т/п «Зеленоборское»	1,20	115,4	205,4 2,0	62,7 1,9	42,5 1,3	28,1 0,5	3320,4	1403,6	31 628,6	125,2
Опытный образец кормовой добавки	1,05	99,8	204,4 1,9	49,7 1,6	35,7 1,1	95,4 1,7	9230,6	3503,2	30 366,7	12 553,2

Следует отметить, что торф содержит большее число карбоксильных групп и, следовательно, имеет несколько более высокие значения величины сорбции как по метиленовому голубому, так и по ионам тяжелых металлов. При этом разница невелика. Сопоставление значений величины сорбции с содержанием карбоксильных групп показывает, что данная величина по ионам свинца, меди и цинка превышает содержание свободных карбоксильных групп, что обусловлено как кулоновским, так и неспецифическим взаимодействием, включая комплексообразование с кислородсодержащими и аминогруппами. Как торф, так и кормовая добавка обладают высокой избирательностью поглощения тяжелых металлов. При этом если относительное сродство исследуемых ионов к торфу уменьшается в ряду $Pb > Cu > Zn > Cd$, то для кормовой добавки ряд сродства имеет вид $Pb > Cd > Cu > Zn$. Это связано с тем, что положение ионов металлов в ряду избирательности определяется не только наличием активных центров сорбции и природой катиона, но и условиями процесса. По-видимому, присутствие в кормовой добавке ростков солода и сухого молока значительно повышая pH среды, оказывает влияние на избирательность сорбции ионов. В результате новая кормовая добавка обладает избирательностью поглощения особо опасных для здоровья ионов свинца и кадмия.

Таким образом, опытный образец кормовой добавки на основе сфагнового торфа и ростков солода, обогащенный сухим молоком, имеет благоприятный для организма поросят pH, содержит присущие исходному сырью биологически активные соединения и обладает более высокой водопоглощающей способностью и сорбционной активностью по отношению к ионам тяжелых металлов, чем сфагновый торф.

Для оценки эффективности применения новой кормовой добавки сотрудниками лаборатории кормления свиней РУП НПЦ НАН Беларусь по животноводству проведен научно-хозяйственный опыт на поросятах-отъемышах. Было сформировано три группы животных: контрольная, рацион которой состоял из стандартного комбикорма; первая опытная, к рациону которой добавляли сфагновый торф; вторая опытная группа, получавшая дополнительно к рациону новую кормовую добавку. Самый высокий среднесуточный прирост пришелся на вторую опытную группу, получавшую новую кормовую добавку (табл. 3). Он составил 36,6 г, или 7,7 % по отношению к контрольной группе.

Как известно, кормовые добавки, предназначенные для скармливания молодняку свиней (поросятам-отъемышам), не рекомендуется применять в рассыпанном виде из-за опасности попадания их в дыхательные пути животных [22]. При этом наиболее эффективным и распространенным способом подготовки кормов для таких животных является их гранулирование.

Базовая смесь компонентов новой кормовой добавки при влажности 47–50 % не обладает пластичностью и не поддается формированию. Самым простым способом придания ей пластичности является увеличение влажности. С целью установления оптимального содержания влаги в базовой сыпучей смеси ее уровень доводили до 55, 60, 65, 70, 75 %. Формование гранул проводили на лабораторном шнековом аппарате с ручным приводом с размером фильтра 5 мм.

Установлено, что гранулы из базовой сыпучей смеси образуются при ее влажности 60–65 %. При меньшей влажности масса недостаточно пластична и не проходит через фильтры аппарата. Увеличение влажности до 70–75 % приводит к излишней текучести массы и невозможности формирования гранул. Гранулы, полученные при оптимальной влажности, имели сплошную гладкую поверхность и хорошо сохраняли форму.

Для повышения прочности гранул в качестве связующих компонентов были испытаны широко применяемые в кормопроизводстве декстрин, альбумин и сапропель [23]. Декстрин – полисахарид, получаемый термической обработкой картофельного или кукурузного крахмала. Хорошо усваивается животными и широко применяется в пищевой промышленности в качестве загустителя, стабилизатора, связующего компонента. Альбумин получают из крови животных. Это источник белка, витаминов, гармонов и минеральных веществ. Он обладает вяжущими свойствами и может применяться в качестве пластификатора и связующего материала.

Сапропель – эффективный природный сорбент, богатый источник биологически активных органических и минеральных веществ. Широко испытан и применяется как компонент кормов для всех видов животных.

Таблица 3. Среднесуточный прирост поросят в научно-хозяйственном опыте

Table 3. Average daily growth of piglets in scientific and economic experience

Группа животных	Среднесуточный прирост живой массы, г	Прирост по отношению к контролю	
		г	%
Контрольная (СК 16)	477,8 ± 20	–	–
I опытная (СК + сфагновый торф)	492,6 ± 24	14,8	3,1
II опытная (СК + кормовая добавка)	514,4 ± 20	36,6	7,7

При получении опытных образцов гранулированной кормовой добавки кроме базовой рецептуры использованы композиции, включающие связующие материалы – декстрин, альбумин и сапропель.

С целью изучения влияния температуры сушки на прочность гранул, часть из них сушили при комнатной температуре, другую часть – в термостате при 100 °C.

Прочность опытных образцов гранул на сжатие испытывали с помощью специального ручного пресса с непрерывно возрастающим давлением (табл. 4).

Полученные данные свидетельствуют о значительном влиянии условий сушки и связующих добавок на устойчивость гранул к возрастающим нагрузкам на сжатие. Так, если гранулы базовой композиции с декстрином в качестве связующего компонента после сушки при комнатной температуре имели близкие показатели по прочности (3,51 и 3,56 МПа), то прочность гранул с альбумином возросла на 12 %. Наибольшей прочностью отличались гранулы с сапропелем, введение которого в базовую композицию позволило повысить прочность гранул, высушенных при комнатной температуре, на 30 % – до уровня 4,6 МПа. Гранулы с сапропелем имели самую большую прочность и при высокотемпературной сушке – 5,0 МПа.

Высокая температура сушки заметно сказывается на прочности гранул с альбумином и декстрином, она увеличилась на 22–26 %.

Прочность гранул оценивали также по стойкости к истиранию (виброустойчивости), которая характеризуется содержанием фракции пыли (0,25/0), образующейся при динамической нагрузке (вращательно-поступательное движение с одновременным встряхиванием в течение 10 мин).

Сравнительная оценка устойчивости к истиранию гранул, полученных при различных температурах сушки, проведена на примере гранул базовой композиции (рис. 1).

Таблица 4. Прочность гранул опытных образцов кормовой добавки на сжатие

Table 4. The strength of the granules of feed additive sample

Состав кормовой добавки	Прочность на сжатие, МПа	
	Сушка при комнатной температуре	Термообработка при 100 °C
Торф	2,39 ± 0,40	–
Базовая композиция	3,51 ± 0,67	4,04 ± 0,48
Базовая композиция + декстрин	3,56 ± 0,83	4,36 ± 0,40
Базовая композиция + альбумин	3,92 ± 0,70	4,95 ± 0,64
Базовая композиция + сапропель	4,58 ± 0,45	5,01 ± 0,37

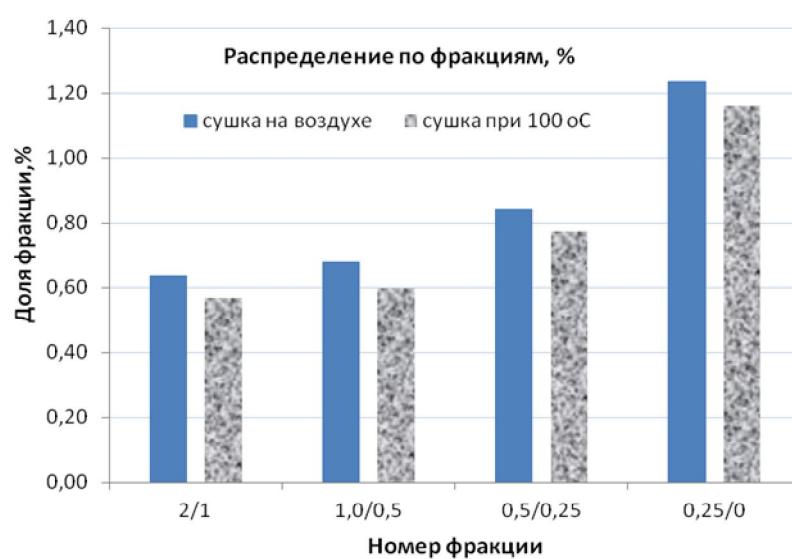


Рис. 1. Влияние условий сушки гранул базовой композиции на распределение по фракциям при испытании их на стойкость к истиранию

Fig. 1. The effect of drying the granules of the base composition on distribution by fractions when tested for abrasion resistance

Как видно из приведенных данных, у гранул базовой композиции, высушенных при комнатной температуре, большее процентное содержание крошки во всех фракциях (0,64; 0,68; 0,84; 1,23 %), чем у гранул, высушенных при температуре 100 °C (0,57; 0,60; 0,78; 1,16 %). При этом содержание пылевидной фракции с размером частиц 0,25 мм, которая характеризует прочность гранул, также больше у образца, высушенного при комнатной температуре, что еще раз свидетельствует о положительном влиянии высокой температуры сушки на прочность гранул.

Оценка устойчивости к истиранию гранул, полученных с различными связующими компонентами, проведена на примере образцов, высушенных при температуре 100 °C (рис. 2). Наибольшей прочностью обладали гранулы с сапропелем, у которых содержание пылевидной фракции составляло 0,9 %. Введение в композицию декстролина и альбумина практически не повлияло на их виброустойчивость.

Сорбционную активность образцов гранулированной кормовой добавки, высушенных при разных температурах, оценивали по величине поглотительной способности в отношении метиленового голубого (табл. 5).

Как видно из полученных данных, введение в базовый состав декстролина и альбумина практически не повлияло на сорбционные свойства кормовой добавки. Применение сапропеля в качестве связующего повысило поглотительную способность добавки на 21,3 %. При этом высокая температура сушки не оказала заметного влияния на сорбционные свойства гранулированной кормовой добавки.

Таким образом, введение сапропеля в состав кормовой добавки позволяет не только повысить прочность и устойчивость к истиранию ее гранул, но и значительно улучшить их сорбционные характеристики.

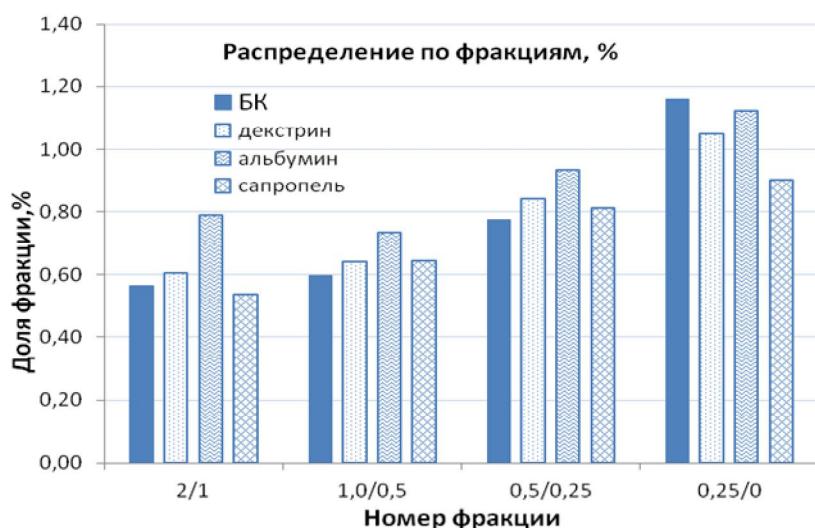


Рис. 2. Влияние связующего компонента на устойчивость к истиранию термообработанных гранул, исходя из распределения по фракциям

Fig. 2. The influence of the binder on the abrasion resistance of heat-treated granules, based on the distribution of fractions

Таблица 5. Сорбционная активность образцов гранулированной кормовой добавки, высушенных при разных температурах

Table 5. Sorption activity of samples of granulated feed additives, dried at different temperatures

Состав кормовой добавки	Величина сорбции по метиленовому голубому, мг/г	
	Сушка на воздухе	Термообработка при 100 °C
Базовая композиция	86,3	84,5
Базовая композиция + декстрин	86,0	83,9
Базовая композиция +альбумин	85,8	85,2
Базовая композиция + сапропель	104,7	100,9

Одним из наиболее эффективных и широко применяемых в комбикормовой промышленности способов обработки сырья является экструзия. Экструдирование включает в себя несколько процессов – температурную обработку при температуре 120–150 °С под давлением до 40 атм., механохимическое деформирование и «взрыв» продуктов при выходе гранул из матрицы пресс-экструдера. Воздействие на корм высоких температур и давления сокращено до возможного минимума и составляет 4–6 с. При этом формируемая масса под воздействием высокого давления и трения подвергается механическому, физико-химическому воздействию и деформированию, а затем, в результате быстрого перемещения из зоны высокого давления в зону атмосферного давления, – теряет значительную часть влаги и образует гранулы с микропористой структурой, которые обладают хорошими адсорбирующими свойствами. Метод экструзии был использован в дальнейшей работе для получения гранулированных кормовых добавок.

Для проведения производственной проверки (зоотехнических испытаний) на полупромышленной установке ООО «ЭкоГранТорф» методом экструзии были получены опытные партии: гранулированного сфагнового торфа м/р «Радемье» ОАО «Зеленоборское» и гранулированной кормовой добавки, содержащей сфагновый торф (50,0 %), ростки солода (7,4 %), сухое молоко (3,0 %), сапропель (14,6 %) и воду (25,0 %).

Физико-техническая характеристика и прочностные свойства экструдированных торфа и новой кормовой добавки, полученных в условиях опытно-промышленной установки, представлены в табл. 6.

Новая кормовая добавка имеет более высокую зольность по сравнению с торфом, что объясняется наличием в ее составе сапропеля. Прочность ее гранул на сжатие и виброустойчивость в 1,6 раза выше, чем у гранул сфагнового торфа. Гранулы кормовой добавки отличаются также значительно более высокой водопоглощающей способностью. Сорбционные характеристики образцов, представленные в табл. 7, свидетельствуют, что сорбционная активность новой кормовой добавки по метиленовому голубому на 25 %, а по иоду на 68 % выше, чем у гранулированного сфагнового торфа, что связано с присутствием в ее составе сапропеля, который обладает высокой сорбционной активностью.

Производственная проверка эффективности применения экструдированного сфагнового торфа и новой кормовой добавки в рационах поросят-отъемышей была проведена РУП «Научно-практический центр НАН Беларусь по животноводству» на поросятах-отъемышах белорусской мясной породы.

Таблица 6. Физико-техническая характеристика и прочностные свойства экструдированных образцов сфагнового торфа и кормовой добавки

Table 6. Physical and technical characteristics and strength properties of extruded peat sphagnum samples and feed additives

Образец	Влажность, %	Зольность А ^c , %	рН водной вытяжки	Водопоглощение, %	Прочность	
					на сжатие, МПа	к истиранию, фракция < 0,25, %
Экструдированный торф (контроль)	17,0	2,9	5,74	120,0	3,1	1,3
Экструдированная кормовая добавка	14,8	4,8	5,80	170,0	4,9	0,8

Таблица 7. Сорбционная активность экструдированных образцов сфагнового торфа и кормовой добавки

Table 7. Sorption activity of extruded peat sphagnum samples and feed additive

Образец	Сорбционная активность, мг/г	
	по метиленовому голубому	по иоду
Гранулированный торф (контроль)	105,0	76,1
Кормовая добавка	131,2	127,5

Результаты испытаний по скармливанию гранулированной кормовой добавки, гранулированного сфагнового торфа и стандартного полнорационного комбикорма СК-16 (контроль), представленные в табл. 8, показали, что за период наблюдений (33 дня) среднесуточный прирост живой массы поросят в контроле составил 391,2 г, в первой опытной группе – 407,0, во второй – 422,1 г. Таким образом, относительный прирост живой массы поросят, получавших новую гранулированную кормовую добавку на фоне контроля, составил 7,9 %.

Экономические результаты применения кормовых добавок представлены в табл. 9.

Стоимость дополнительной продукции, полученной за период опыта, в расчете на 1 голову при применении новой кормовой добавки на 2,48 руб. (1,2 у. е.) выше, чем в контрольном варианте, где поросятам давали стандартный корм.

Таким образом, испытания на поросятах подтвердили эффективность применения новой кормовой добавки.

Таблица 8. Среднесуточный привес массы поросят в опытах по скармливанию опытных кормовых добавок

Table 8. Average daily weight gain of piglets in experiments on feeding of experimental feed additives

Группа опыта	Вид корма	Среднесуточный привес, г	Прирост к контролю	
			г	%
Контрольная	Комбикорм СК-16	391,2	–	–
I опытная	Комбикорм СК-16 + гранулированный торф	407,0	15,8	4,0
II опытная	Комбикорм СК-16 + гранулированная кормовая добавка	422,1	30,8	7,9

Таблица 9. Экономическая эффективность применения новой кормовой добавки

Table 9. Cost-effectiveness of the new feed additive

Показатель	Группа животных		
	контрольная	I опытная	II опытная
Длительность опыта, дней	33		
Получено привеса на одну голову за период опыта, кг	12,91	13,43	13,90
Дополнительный привес на одну голову за период опыта по сравнению с контролем, кг	0	+0,52	+0,99
Закупочная цена на свинину первой категории, руб.		2,5	
Получено прибыли на 1 голову за период опыта по сравнению с контролем, руб.	0	+1,3	+2,48
Стоимость 1 долл. США		2,103	
Получено прибыли на 1 голову за период опыта по сравнению с контролем, долл. США	0	+0,62	+1,2

Заключение. Научно обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность использования в качестве основных компонентов новой биологически активной кормовой добавки мало-разложившегося сфагнового торфа, обладающего высокой сорбционной емкостью и включающего в свой состав широкий спектр соединений ростстимулирующего и адаптогенного действия, и ростков солода – неиспользуемого в полном объеме отхода пивоваренного производства, богатого источника аминокислот, меланоидинов, пектина и других биологически активных соединений.

Физико-химическая и сорбционная характеристика опытных образцов новой кормовой добавки выявила их высокие водно-сорбционные качества и способность связывать ионы тяжелых металлов.

Комплекс исследований по получению гранулированных форм новой кормовой добавки показал, что включение в ее состав сапропеля не только повышает прочность гранул, но и значительно увеличивает сорбционную активность. Так, сорбционная способность кормовой добавки, гранулированной методом экструзии, по метиленовому голубому на 25 %, а по йоду на 68 % выше, чем у экструдированного сфагнового торфа, что связано с введением в состав добавки сапропеля.

Научно-хозяйственные опыты по скармливанию новой кормовой добавки поросятам-отъемышам, проведенные совместно с РУП НПЦ НАН Беларусь по животноводству, подтвердили ее эффективность. Среднесуточный прирост в расчете на одно животное на 7,9 % выше, чем в контрольном варианте. Стоимость продукции, дополнительно полученной за время опыта, в расчете на одну голову составила 2,48 руб., или 1,2 у. е. (в ценах 2018 г.).

Список использованных источников

1. Пономаренко, Ю. А. Питательные и антипитательные вещества в кормах / Ю. А. Пономаренко. – Минск : Экоперспектива, 2007. – С. 701–732.
2. Пономаренко, Ю. А. Корма, биологически активные вещества, безопасность / Ю. А. Пономаренко, В. И. Фисинин, И. А. Егоров. – Минск : Белстан, 2014. – С. 511.
3. Пономаренко, Ю.А. Питательные и антипитательные вещества в кормах / Ю. А. Пономаренко. – Минск : Экоперспектива, 2007. – С. 505–507.
4. Пономаренко, Ю. А. Корма, биологически активные вещества, безопасность / Ю. А. Пономаренко, В. И. Фисинин, И. А. Егоров. – Минск : Белстан, 2014. – 872 с.
5. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларуская навука, 2009. – 328 с.
6. Нагорский, В. Сельское хозяйство и лесоводство / В. Нагорский. – 1902. – Т. 206, № 9. – С. 679–681.
7. Использование сфагнового торфа в кормлении животных: временные рекомендации. – Минск, 1980. – 24 с.
8. Эрнст, Л. Кормовые продукты из торфа / Л. Эрнст, З. Науменко, С. Ладинская // Животноводство. – 1981. – № 9. – С. 27–28.
9. Наумова, Г. В. Торф в биотехнологии / Г. В. Наумова. – Минск, 1987. – 152 с.
10. Ферман, Г. И. Идентификация азотистых веществ солодовых ростков и экстрактов из них / Г. И. Ферман, В. Т. Гирс // Изв. высш. Учеб. зав. Пищевая технология. – 1972. – № 1. – С. 92–94.
11. Каленюк, В. Ф. Оценка качества белка и балансирование аминокислотного состава рационов свиней / В. Ф Каленюк // Белково-аминокислотное питание сельскохозяйственных животных : материалы Всесоюз. совещ., Калуга, 1986. – Баровск, 1987. – С. 110–122.
12. Использование экстракта солодовых ростков в качестве биостимулятора пивных дрожжей / Т. Гинова-Стоянова [и др.] // Хранителна на промышленност. – 1988. – № 1. – С. 30–32.
13. Радчиков, В. Ф. Эффективность использования биологически активного препарата «Мальтамин» в рационах телят / В. Ф. Радчиков, В. А. Панова, Г. В. Наумова // Актуальные проблемы интенсификации производства продукции животноводства : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Жодино, 2005. – С. 36–38.
14. Домбровская, А. В. Атлас растительных остатков, встречающихся в торфе / А. В. Домбровская, М. И. Коренева, С. Н. Тюремнов. – М. : Госэнергоиздат, 1959.
15. Торф. Термины и определения. ГОСТ 21123–85. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 49 с.
16. Торф. Методы определения степени разложения. ГОСТ 10650–72. – М. : Изд-во стандартов, 1974.
17. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. ГОСТ 11306–83. – М. : Изд-во стандартов, 1985.
18. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск : Наука и техника, 1975. – 318 с.
19. Сысков, К. М. Определение конститутивных групп в углях и их составных частях сорбционным способом / К. М. Сысков, Т. А. Кухаренко // Зав. лаб. – 1947. – № 1. – С. 25–27.
20. Семенский, Е. П. Технический анализ торфа / Е. П. Семенский. – М., 1966. – 232 с.
21. Рокицкий, П. Ф. Биологическая статистика / П. Ф. Рокицкий. – Минск : Вышэйшая школа, 1973. – 327 с.
22. Классификатор сырья и продукции комбикормового производства Республики Беларусь. – Минск, 2003. – 85 с.
23. Кулешов, П. Н. Влияние питания на формы животного тела и на характер продуктивности. Избранные работы / П. Н. Кулешов. – М. : Гос. изд-во с.-х. лит-ры, 1949. – С. 29.

References

1. Ponomarenko Yu. A. *Pitatelnyye i antipitatelnyye veshchestva v kormakh* [Nutrients and anti-nutrients in feed]. Minsk, 2007, pp. 701–732 (in Russian).
2. Ponomarenko Yu. A., Fisinin V. I., Egorov I. A. *Korma. Biologicheski aktivnyye veshchestva, bezopasnost* [Feed. Biologically active substances, security]. Minsk, 2014, pp. 511 (in Russian).
3. Ponomarenko Yu. A. *Pitatelnyye i antipitatelnyye veshchestva v kormakh* [Nutrients and anti-nutrients in feed]. Minsk, 2007, pp. 505–507 (in Russian).
4. Ponomarenko Yu. A., Fisinin V. I., Egorov I. A. *Korma, biologicheski aktivnyye veshchestva. Bezopasnost* [Feed. Biologically active substances, security]. Minsk, 2014, 872 p. (in Russian).
5. Tomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and the products of its proceeding]. Minsk, 2009, 328 p. (in Russian).
6. Nagorskiy V. *Selskoye khozyaystvo i lesovodstvo* [Agriculture and forestry]. 1902, vol. 206, no 9, pp. 679–681 (in Russian).
7. *Ispolzovaniye sfagnovogo torfa v kormlenii zhivotnykh: vremennyye rekomendatsii* [Sphagnum peat use during animals feed: temporary recommendations]. Minsk, 1980, 24 p. (in Russian).
8. Ernst L., Naumenko Z., Ladinskaya S. *Kormovyye produkty iz torfa* [Feed products from peat]. Zhivotnovodstvo = Animal husbandry, 1981, no 9, pp. 27–28 (in Russian).
9. Naumova G. V. *Torf v biotekhnologii* [Peat and biotechnologies]. Minsk, 1987, 152 p. (in Russian).
10. Ferman G. I., Girs V. T. *Identifikatsiya azotistykh veshchestv solodovykh rostkov i ekstraktov iz nich* [Identification of the nitrogenous substances of malt sprouts and extracts from them]. Izv. vyssh. ucheb. zav. Pishchevaya tekhnologiya, 1972, no 1, pp. 92–94 (in Russian).

11. Kalenyuk V. F. *Otsenka kachestva belka i balansirovaniye aminokislotnogo sostava ratsionov sviney* [Evaluation of protein quality and balancing the amino acid composition of pig diets]. *Belkovo-aminokislotnoye pitaniye selskokhozyaystvennykh zhivotnykh : Mater. Vsesoyuzn. soveshch.* Kaluga, 1986. Barovsk, 1987, pp. 110–122 (in Russian).
12. Ginova-Stoyanova T., Todorova V., Kabkchiyeva G. i dr. *Ispolzovaniye ekstrakta solodovykh rostkov v kachestve biostimulyatora pivnykh drozhzhey* [Malt sprout extract use as a beer yeast biostimulant]. *Khranitelna na promyshlennost.* 1988, no 1, pp.30–32 (in Russian).
13. Radchikov V. F., Panova V. A., Naumova G. V. *Efektivnost ispolzovaniya biologicheski aktivnogo preparata «Maltamin» v ratsionakh telyat* [Effectiveness of biologically active preparation 'Maltamin' use in calves diet]. *Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Aktualnyye problemy intensifikatsii proizvodstva produktov zhivotnovodstva».* Zhodino, 2005, pp. 36–38 (in Russian).
14. Dombrovskaya A. V., Koreneva M. I., Tyuremnov S. N. *Atlas rastitelnykh ostatkov. vstrechayemykh v torfe* [Atlas of plant residues found in peat]. Moscow, 1959 (in Russian).
15. GOST 21123–85. *Torf. Termiry i opredeleniya* [Peat. Terms and definitions]. Moscow, 1986, 49 p. (in Russian).
16. GOST 10650–72. *Torf. Metody opredeleniya stepeni razlozheniya* [Peat. Methods of botanical content and degree of decomposition determination]. Moscow, 1974 (in Russian).
17. GOST 11306–83. *Torf i produkty ego pererabotki. Metody opredeleniya zolnosti* [Peat. Methods of moisture and ash determination]. Moscow, 1985 (in Russian).
18. Lishtvan I. I., Korol N. T. *Osnovnyye svoystva torfa i metody ikh opredeleniya* [Main properties of peat and methods of its determination]. Minsk, 1975. 318 p. (in Russian).
19. Syskov K. M., Kukharenko T. A. *Opredeleniye konstitutivnykh grupp v uglyakh i ikh sostavnnykh chastyakh sorbtionnym sposobom* [Determination of constitutive groups in coals and its composed parts by sorption method]. *Zav. lab.* 1947, no 1, pp. 25–27 (in Russian).
20. Semenskiy E. P. *Tekhnicheskiy analiz torfa* [Technical peat analysis]. Moscow, 1966, 232 p. (in Russian).
21. Rokitskiy P. F. *Biologicheskaya statistika* [Biological statistics]. Minsk, 1973, 327 p. (in Russian).
22. *Klassifikator syria i produktov kombikormovogo proizvodstva Respubliki Belarus* [Classifier of raw materials and products of feed production of the Republic of Belarus]. Minsk, 2003, 85 p. (in Russian).
23. Kuleshov P. N. *Vliyanie pitaniya na formy zhivotnogo tela i na kharakter produktivnosti. Izbrannyye raboty* [Classifier of the raw materials and products of mixed feed production of the Republic of Belarus]. *Gosudarstvennoye izdatelstvo s.-kh. literatury.* Moscow, 1949, p. 29 (in Russian).

Информация об авторах

Томсон Алексей Эммануилович – канд. хим. наук, доцент, зам. директора по науч. работе, зав. Центром по торфу и сапропелям, зав. лаб. экотехнологий, Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: altom@ecology.basnet.by

Наумова Галина Васильевна – д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Линкевич Сергей Александрович – канд. с.-х. наук, зав. лаб. кормления свиней, РУП «Научно-практический центр НАН Беларусь по животноводству» (ул. Фрунзе, 11, 222160, г. Жодино, Минская обл.). E-mail: linkbysa@rambler.ru

Овчинникова Татьяна Феликсовна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Соколова Тамара Владимировна – канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: tomsok49@tut.by

Information about the authors

Aleksey E. Tomson – Ph.D (Chemistry), Assistant Professor, Deputy Director, Head of the Centre for the Peat and Sапропель, Head of Lab of Ecotechnology, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: altom@ecology.basnet.by

Galina V. Naumova – D.Sc. (Technical), Professor, Chief Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Sergey A. Linkevich – Ph.D. (Agricultural), Head of Lab of pig feeding, RUE «Scientific and Practical Center of NAS of Belarus on Animal Farming» (11, Frunze Str., 222160, Zhodino, Minsk Region). E-mail: linkbysa@rambler.ru

Tatyana Ovchinnikova – Ph.D. (Technical), Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Tamara V. Sokolova – Ph.D. (Chemistry), Assistant Professor, Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: tomsok49@tut.by

Жмакова Надежда Анатольевна – канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: zhmakova@mail.ru

Царюк Татьяна Яковлевна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: tsariuk9@mail.ru

Макарова Наталья Леонидовна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Навоша Юльян Юльянович – канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: navoscha@tut.by

Сосновская Наталья Евгеньевна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: natalisosnov@mail.ru

Пехтерева Виктория Станиславовна – науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: pehvik@jandex.ru

Фалюшина Ирина Петровна – мл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Макеенко Александр Александрович – аспирант, мл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, д.10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: makeenko1507@mail.ru

Nadezhda A. Zhmakova – Ph.D. (Technical), Leading Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: zhmakova@mail.ru

Tatiana Ya. Tsariuk – Ph.D. (Technical), Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: tsariuk9@mail.ru

Natalya L. Makarova – Ph.D. (Technical), Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Yulian Yu. Navosha – Ph.D. (Physical and Mathematical), Leading Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: navoscha@tut.by

Nataliya E. Sosnovskaya – Ph.D. (Technical), Senior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: natalisosnov@mail.ru

Victoriya S. Pehtereva – Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: pehvik@jandex.ru

Iryna P. Falushyna – Junior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Alexander A. Makeenko – Graduate Student, Junior Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: makeenko1507@mail.ru

ХРОНИКА
CHRONICS

**ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ
ЗЕЛЕНОЙ ЭКОНОМИКИ НА ПОСТСОВЕТСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ**
**GEOGRAPHICAL AND GEOECOLOGICAL ASPECTS OF DEVELOPMENT
GREEN ECONOMY IN THE POST-SOVIET SPACE**

В г. Гродно при организационной поддержке Института природопользования НАН Беларуси, Института географии РАН и Гродненского дома науки и техники 5–7 июня 2019 г. прошло важное мероприятие – Международный научный семинар и XXIII сессия Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам при Международной ассоциации академий наук (МААН) на тему «Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике в странах и регионах СНГ».

Объединенный научный совет по фундаментальным географическим проблемам при МААН создан в 1996 г. и объединяет представителей географических учреждений национальных академий наук и ведущих университетов ряда независимых государств на пространстве бывшего СССР. Совет действует в тесной взаимосвязи с одноименным советом РАН.

В работе семинара и сессии в Гродно участвовали около 50 ведущих ученых-географов из 7 стран (Армении, Азербайджана, Беларуси, Украины, России, Таджикистана, Словакии). Всего было заслушано 28 докладов – на пленарных заседаниях, в рамках круглого стола и трех обзорных полевых экскурсий.

С заглавным докладом «География в современном мире» перед участниками семинара/сессии выступил Председатель Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам при МААН, Почетный Президент Русского географического общества академик РАН В. М. Котляков. Докладчик детально проанализировал этапность в становлении и развитии географии, обосновал роль географической науки в современную эпоху глобализации, гуманизации и экологизации. Показал, что в географии по-прежнему существует немало фундаментальных проблем, решение которых возможно лишь в тесной координации международного географического сообщества.

А. Ю. Ретеюмом в соавторстве с членом-корреспондентом РАН К. Н. Дьяконовым (МГУ им. М. В. Ломоносова) на примере России был представлен опыт использования рекомендаций Повестки дня ООН в области устойчивого развития на период до 2030 г. Были проиллюстрированы существенные проблемы в стыковке показателей, с использованием которых намечено отслеживать достижение целей устойчивого развития, и их обеспечении на страновом уровне. Сделан вывод о том, что ликвидация существующих пробелов, уточнение концепции и анализ собранных сведений – это ниша географии, поскольку ни одна из дисциплин не располагает нужным потенциалом для охвата всего круга тем перехода к устойчивому развитию.

Роль и перспективы зеленой экономики в социально-экономическом развитии Байкальского региона были рассмотрены в докладе Л. М. Корытного, Т. И. Зaborцевой и О. В. Евстропьевой (Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН). С учетом социально-экономического потенциала и байкалоцентричности модели развития региона в русле «зеленой» экономики рассмотрены перспективные производственные направления – санитарно-защитная инфраструктура, возобновляемая солнечная и ветровая энергетика, бутилирование байкальской воды, а также традиционные ремесла и экологический туризм в его четырех разновидностях: на ООПТ, этнотуризм, сельский туризм и активный туризм.

В докладе Е. Ж. Гармаева, академика РАН А. К. Тулохонова Л. Г. Намжиловой и Т. А. Болданова (Байкальский институт природопользования СО РАН) были обоснованы возможности и перспективы развития адаптивного природопользования и органического сельского хозяйства в Байкальском





регионе. Показано, что развитие данных направлений зеленой экономики не только обеспечит продовольственную безопасность населения региона и экспортные поставки сельхозпродукции, но и полностью соответствует задачам устойчивого развития и сохранения природной среды в бассейне оз. Байкал – участка мирового природного наследия. Академик РАН А. А. Чибилёв (соавторы Ю. А. Гулянова и С. В. Левыкин – Институт степи УрО РАН) теоретически обосновал принципы перехода к зелёной экономике, как новой экономической стратегии, направленной на преодоление обострившихся вызовов современности. Докладчик проанализировал также основные проблемы природопользования, характерные для степных регионов Европейской России и Урала, раскрыл их перспективные технологические решения.

Предпосылки перехода к «зеленой» экономике на основе анализа действующей в Беларуси системы государственного экономического и экологического прогнозирования, а также динамики экономического развития и связанных с ним воздействий на окружающую среду были рассмотрены в докладе М. И. Струка (Институт природопользования НАН Беларуси).

Ряд докладов был посвящен эколого-географическим аспектам создания и поддержания зеленой инфраструктуры на различных иерархических уровнях, развитию экосистемных услуг и экологического туризма, как неотъемлемых условий и составляющих зеленой экономики.

В докладе Н. А. Соболева и соавторов (Институт географии РАН) были рассмотрены некоторые результаты проекта по картографированию и изучению Великого Евразийского природного массива как источника экосистемных услуг.

Возможности учета экосистемных услуг как условие перехода региона к зеленой экономике были рассмотрены в докладе члена-корреспондента РАН А. А. Тишкова, Е. А. Белоновской и Н. Г. Царевской (Институт географии РАН) на примере национального парка «Валдайский». Были представлены оценки вклада озер-водохранилищ в экологическое состояние Верхне-Волжской и Невско-Ладожской водных систем и региональную экономику.

Результаты сотворчества человека с природой как элемента зеленой экономики были рассмотрены в докладе члена-корреспондента РАН В. А. Снытко и Н. А. Озеровой (Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН) на примере Березинской водной системы (Беларусь).

В докладе Л. А. Кравчук и соавторов (Институт природопользования НАН Беларуси) была представлена концептуальная схема организации природно-экологического каркаса как основы зеленой инфраструктуры урбанизированной территории и ее реализация на примере г. Минска и его пригородной зоны.

Развитие медицинского туризма в Санкт-Петербурге с позиций концепции зеленого роста было рассмотрено в докладе А. И. Чистобаева и З. А. Семеновой (Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета). В докладе были сформулированы приоритеты организации медицинского туризма в Санкт-Петербурге, сделан вывод о формировании в городе медико-туристского кластера мирового уровня.

Ряд докладов был посвящен анализу изменения природной среды и природопользованию в условиях перехода к зеленой экономике.

Многолетние изменения глобальной и региональной температуры атмосферного воздуха под влиянием внешних климатообразующих факторов – парниковых газов и аэрозолей естеств-

венного и антропогенного происхождения были рассмотрены в докладе академика НАН Беларуси В. Ф. Логинова (Институт природопользования НАН Беларуси).

Климатические ресурсы Азербайджана и возможности их использования в качестве альтернативных источников энергии были рассмотрены в докладе М.С. Гасанова и академика НАН Азербайджана Р. М. Мамедова (Институт географии им. акад. Г. А. Алиева НАН Азербайджана).

Основные тенденции изменений в использовании земель лесостепной зоны Украины за 1991–2018 гг., выявленные с использованием открытых геоданных дистанционного зондирования Земли, были представлены в докладе А. Г. Голубцова, академика НАН Украины Л. Г. Руденко и других соавторов (Институт географии НАН Украины).

А. В. Измайловой от группы соавторов: академика РАН В. А. Румянцева (Институт озероведения РАН), Н. И. Короневича и др. (Институт географии РАН) был представлен доклад, в котором рассмотрены изменения ресурсов речных и озерных вод России, антропогенное воздействие на них, эффективность использования воды в различных отраслях хозяйства и возможности минимизации негативных последствий воздействий на водные ресурсы.

Экологические и правовые аспекты природопользования в Байкальском регионе в условиях особого режима пользования природными ресурсами были рассмотрены в докладе И. Н. Владимириова (Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН).

Об изменениях в экологическом состоянии геосистем Маломорского побережья озера Байкал с дифференциацией территории по степени нарушенности говорилось в докладе В. М. Плюснина, И. Н. Биличенко и С. А. Седых (Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН).

Особенности деградации горных пастбищ Таджикистана и пути их улучшения были рассмотрены в докладе Х. М. Мухаббатова (Отдел географии АН Республики Таджикистан) и Х. У. Умарова (Национальный университет Республики Таджикистан).

Методические аспекты и результаты эколого-географических исследований г. Еревана в целях обеспечения устойчивого городского развития были рассмотрены в докладе А. К. Сагателяна, Ш. Г. Асмарян и Л. В. Саакян (Центр эколого-ноосферных исследований НАН Республики Армения).

В докладе Л. А. Некрасовой, Э. А. Лихачевой и соавторов (Институт географии РАН) были проанализированы экологические ограничения социально-экономического развития регионов России, обусловленные возможностью возникновения эколого-геоморфологических экстремальных ситуаций.

Показано, что экологическое страхование может рассматриваться как инструмент для регулирования ущерба.

Результаты исследований содержания тяжелых металлов в почвах и растительности юго-запада Беларуси, как основы для сравнительных оценок при производстве органической продукции на основе принципов зеленой экономики, рассмотрены в докладе Н. В. Михальчука и А. Н. Мялика (Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси).



Особенности трансформации, пути восстановления и возрождения культурного ландшафта в послевоенной Тузле и ее окрестностях были представлены в докладе Аны Ухер (Институт географии Словацкой академии наук).

Р. Г. Грачевой (Институт географии РАН) был сделан доклад на тему: «Интегрированное сельское хозяйство: опыт запада и востока».

Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике и особенности их отражения в университетском образовании были рассмотрены в докладе К. В. Чистякова (Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета).

В докладе Н. А. Зайцевой (Отделение наук о Земле РАН) была представлена позиция Российской академии наук в отношении решения проблемы изменения климата.

В рамках сессии был проведен Круглый стол на тему «Организация зеленой инфраструктуры и развитие экосистемных услуг как условие перехода к зеленой экономике», а в заключительный день во время обзорной научной экскурсии участники посетили Лидский торфобрикетный завод, включая производственный комплекс по изготовлению пеллет из растительной биомассы нарушенных болот и отходов лесного хозяйства, ознакомились с опытом реабилитации нарушенных болот в целях развития зеленой экономики.

По материалам семинара/сессии опубликовано книжное издание «Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике» / редкол. : В. С. Хомич (гл. ред.), В. Ф. Логинов, Е. В. Санец. – Минск : СтройМедиаПроект, 2019. – 324 с.

Как отметили зарубежные участники сессии, благодаря белорусским коллегам, удалось не только обсудить насущные проблемы развития географической науки на постсоветском пространстве, но и ознакомиться с жизнью современной Беларуси, увидеть несомненные успехи ее хозяйства, особенно сельского, заботу о природном и культурном наследии.



**В. С. Хомич, В. Ф. Логинов –
члены Объединенного научного совета
по фундаментальных географическим проблемам
при Международной ассоциации академий наук (МААН)**

Научное издание
Scientific publication

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
NATURE MANAGEMENT

№ 1, 2019

Редактор Н. Т. Гавриленко
Editor N. T. Gavrilenko

Компьютерная верстка Т. Н. Козловская
Computer page making T. N. Kozlovskaya

Переводчик М. Ю. Артюшевская
Translator M. U. Artushevskaya

Подписано в печать 15.08.19. *Signed into print 15.08.2019.*
Формат 60×90/8. Бумага офсетная. *60×90/8 format. Office paper.*
Гарнитура Ариал. Печать цифровая. *Arial garniture. Digital print.*
Усл. печ. л. 30,9. *Conditional printed sheets 30.9.*
Уч.-изд. л. 27,7. *Conditional edited sheets 27.7.*
Тираж 120 экз. *Circulation 120 copies.*
Заказ № 847. *Order No. 847.*

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*