

ISSN 2079-3928



Природо- пользование



1
2018

Государственное научное учреждение
«Институт природопользования
Национальной академии наук Беларусь»

Природопользование

2018. № 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

2018. № 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)

Arcadiy Tishkov – Corresponding Member, D.Sc. (Geography) (Russia)

Sergei Zilitenkevich – D.Sc. (Physical and Mathematical), Professor (Finland)

Boris Zuzin – D.Sc. (Technical), Professor (Russia)

Address

10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus.

Phone: (017) 267-26-32, fax: (017) 267-24-13.

E-mail: nature@ecology.basnet.by

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

К 85-ЛЕТИЮ ИНСТИТУТА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАН БЕЛАРУСИ TO THE 85th ANNIVERSARY OF THE INSTITUTE FOR NATURE MANAGEMENT OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

Лиштван И. И., Томсон А. Э., Бамбалов Н. Н., Наумова Г. В., Бровка Г. П., Курзо Б. В., Ракович В. А. <i>Lishtvan I. I., Tomson A. E., Bambalov N. N., Naumova G. V., Brovka G. P., Kurzo B. V., Rakovich V. A.</i>	Исследования по торфу и сапропелю Института природопользыва ния НАН Беларуси на службе экономики Республики Беларусь	6
Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И., Струк М. И., Кравчук Л. А., Кадацкая О. В., Санец Е. В., Савченко С. В., Саливончик С. В., Овчарова Е. П., Рыжиков В. А., Мальчихина А. В., Козыренко М. И., Круковская О. Ю., Кокош Ю. Г. <i>Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchyk T. I., Ecological and geographical studies of the urbanized territories of Belarus Struk M. I., Kravchuk L. A., Kadatskaya O. V., Belarus Sanets E. V., Savchenko S. V., Salivonchyk S. V., Ovcharova E. P., Ryzhikov V. A., Malchykhina H. V., Kazyrenka M. I., Krukowskaya O. Y., Kokosh Y. G.</i>	Эколого-географические исследования урбанизированных территорий Беларуси	26
Айзберг Р. Е., Махнach А. А., Карабанов А. К., Матвеев А. В., Гарецкий Р. Г., Кудельский А. В., Грибик Я. Г., Каратаев Г. И., Пашкевич В. И., Жогло В. Г., Рылова Т. Б., Зерницкая В. П. <i>Aizberg R. E., Makhnach A. A., Karabanov A. K., Matveyev A. V., Garetsky R. G., Kudelsky A. V., Gribik Ya. G., Karataev G. I., Pashkevich V. I., Zhoglo V. G., Rylova T. B., Zernitskaya V. P.</i>	Основные направления и результаты геологических исследований в Беларуси (1991–2017) <i>Main directions and results of geological research in Belarus (1991–2017)</i>	46
Логинов В. Ф., Лысенко С. А., Данилович И. С., Камышенко Г. А., Коляда В. В., Мельник В. И., Микуцкий В. С., Табальчук Т. Г., Хитриков М. А., Чернышев В. Д. <i>Loginov V. F., Lysenko S. A., Climate research in the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus Danilovich I. S., Kamyshenko H. A., Kalyada V. V., Melnik V. I., Mikutsky V. S., Tabalchuk T. G., Khytrykau M. A., Chernyshev V. D.</i>	Климатические исследования Института природопользования НАН Беларуси	67
ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOGRAPHY. GEOECOLOGY		
Какарека С. В. <i>Kakareka S. V.</i>	Свинец в атмосферном воздухе Беларуси <i>Lead in ambient air of Belarus</i>	87
Балабух В. А., Малицкая Л. В., Ягодинец С. Н., Лавриненко Е. Н. <i>Balabukh V., Malytska L., Yagodinets S., Lavrinenko L.</i>	Проекции изменения и ожидаемые значения климатических средних и показателей экстремальности термического режима к середине XXI века в Украине <i>Projections of changes climatic mean and extreme parameters of thermal regime by the middle of the 21st century in Ukraine</i>	97
Краковская С. В. <i>Krakovska S. V.</i>	Оптимальный ансамбль региональных климатических моделей для оценки изменений температурного режима в Украине <i>Optimal ensemble of regional climate models for the assessment of temperature regime change in Ukraine</i>	114

Курочкина А.И.	Предпосылки и динамика развития ветроэнергетики в странах СНГ и Беларусь	127
<i>Kurachkina A. I.</i>	<i>Preconditions and the dynamics of wind energy development in the CIS countries and Belarus</i>	
Хитриков М. А.	Характеристика изменений биоклиматического потенциала Беларусь и сопредельных территорий Литвы и Украины за период 1977–2015 гг.	135
<i>Khitrykau M. A.</i>	<i>The characteristics of bioclimatic potential changes in Belarus and neighboring regions of Lithuania and Ukraine in 1977–2015</i>	
Савич-Шемет О. Г., Черепанский М. М.	Многолетние и современные изменения речного и подземного стока больших и средних рек территории Оршанского артезианского бассейна в условиях изменяющегося климата	150
<i>Savich-Shemet O. G., Cherepanskii M. M.</i>	<i>Long-term and modern changes in river and groundwater flow of large and medium rivers of Orsha artesian basin territory in a changing climate</i>	
Аверина Н. Г., Козел Н. В., Ракович В. А., Серебренникова О. В., Стрельникова Е. Б.	Влияние условий формирования болотных экосистем на химический состав органических соединений торфа	162
<i>Averina N. G., Kozel N. V., Rakovich V. A., Serebrennikova O. V., Strelnikova E. B.</i>	<i>Influence of the conditions of bog ecosystem formation on the chemical composition of organic peat compounds</i>	
Курзо Б. В., Krakovetsky A. V.	Районирование территории Беларусь по пригодности запасов торфа и залегающего совместно с ним сапропеля для выпуска продукции комплексного назначения	176
<i>Kurzo B. V., Krakovetsky A. V.</i>	<i>Regionalization of the territory of Belarus by the suitability of peat and peat-related sapropel resources for integrated purpose goods production</i>	

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

Бамбалов Н. Н., Тищенко Л. Ю., Бровка Г. П., Соколов Г. А.	Технологическая эффективность гидродинамической кавитационной обработки торфа перед экстракцией гуминовых веществ	190
<i>Bambalov N. N., Tishenko L. U., Brovka G. P., Sokolov G. A.</i>	<i>Technological effectiveness of the hydrodynamical cavitional treatment of peat before humic substance extraction</i>	
Томсон А. Э., Орлов А. С., Селянина С. Б., Стригуцкий В. П., Соколова Т. В., Пехтерева В. С., Сосновская Н. Е., Труфанова М. В., Пономарева Т. И., Ярыгина О. Н., Зубов И. Н.	Сравнительный анализ органической части верхового торфа, сформированного в различных геоклиматических условиях	198
<i>Tomson A. E., Orlov A. S., Seljanina S. B., Strigutsky V. P., Sokolova T. V., Pehtereva V. S., Sosnovskaya N. E., Tryfanova M. V., Ponomarjova T. I., Yaryigina O. N., Zybav I. N.</i>	<i>Comparative analysis of the organic part of raised peat, formed in different geoclimatic conditions</i>	
Наумова Г. В., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Рассоха Н. Ф., Овчинникова Т. Ф.	Энзиматическая активность торфа естественной и разрабатываемой торфянной залежи	208
<i>Naumova G. V., Zhmakova N. A., Makarova N. L., Rassoha N. F., Ovchinnikova T. F.</i>	<i>Enzymatic activity of the peat of natural and developed peat deposit</i>	
Наумова Г. В., Овчинникова Т. Ф., Рассоха Н. Ф., Макарова Н. Л., Жмакова Н. А.	Биологическая активность продуктов совместной гидролитической переработки торфа и рапсового шрота	217
<i>Naumova G. V., Ovchinnikova T. F., Rassoha N. F., Makarova N. L., Zhmakova N. A.</i>	<i>The biological activity of the joint hydrolytic products of peat and rased shrone processing</i>	

Березовский Н. И., Борисейко В. В.	Экологические и экономические аспекты использования инновационных аспирационных систем в торфяной промышленности	224
<i>Berezovsky N. I., Boriseyko V. V.</i>	<i>Environmental and economic aspects of the use of innovative aspiration systems in peat industry</i>	
Лицкевич А. Н., Басалай Е. Н.	Использование осадков сточных вод рыбоперерабатывающего предприятия СП «Санта Бремор» ООО в качестве удобрения	238
<i>Litskevich A. N., Basalai E. N.</i>	<i>The use of sewage sludge of fish processing enterprises JV "Santa Bremor" LLC as fertilizers</i>	
Гулькович М. В., Лицкевич А. Н., Бамбалов Н. Н.	Технология получения удобрений из отходов молокоперерабатывающих предприятий	246
<i>Gulkovich M. V., Litskevich A. N., Bambalov N. N.</i>	<i>Technology of obtaining fertilizers from waste products from milk processing plants</i>	

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ BRIEF REPORTS

Цедрик А. В.	Анализ рационального использования минерально-сырьевых ресурсов в Республике Беларусь	254
<i>Tsedrik A. V.</i>	<i>The analysis of rational use of mineral raw material resources in regions of the Republic of Belarus</i>	

ХРОНИКА CHRONICS

Гарецкий Р. Г., Матвеев А. В., Карабанов А. К., Грибик Я. Г.	Лидер региональной и нефтяной геологии (К 85-летию Р. Е. Айзберга)	260
<i>Garetsky R. G., Matveyev A. V., Karabanov A. K., Gribik Ya. G.</i>	<i>Leader of regional and oil geology (To the 85th anniversary of R. E. Aizberg)</i>	
Зерницкая В. П., Айзберг Р. Е., Гарецкий Р. Г., Карабанов А. К., Нечипоренко Л. А.	Исследователь недр Земли Белорусской (К 80-летию А. В. Матвеева)	262
<i>Zernitskaya V. P. Aizberg R. E., Garetsky R. G., Karabanov A. K., Nechiporenko L. A.</i>	<i>Researcher of the Earth depths in Belarus (To the 80th anniversary of A. V. Matveyev)</i>	

К 85-ЛЕТИЮ ИНСТИТУТА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАН БЕЛАРУСИ

TO THE 85th ANNIVERSARY OF THE INSTITUTE FOR NATURE MANAGEMENT OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

УДК 553.97:553.973

Поступила в редакцию 12.04.2018

Received 12.04.2018

ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ТОРФУ И САПРОПЕЛЮ ИНСТИТУТА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАН БЕЛАРУСИ НА СЛУЖБЕ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

И. И. Лиштван, А. Э. Томсон, Н. Н. Бамбалов, Г. В. Наумова,
Г. П. Бровка, Б. В. Курзо, В. А. Ракович

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье изложены основные направления теоретических и прикладных исследований Центра по торфу и сапропелю, включающего ряд лабораторий, занимающихся разработкой научно-технических основ комплексной переработки торфа и сапропеля с получением новых продуктов и материалов для энергетики, сельского хозяйства, охраны окружающей среды, медицины.

Лабораторией физико-химической механики природных дисперсных систем представлены основные результаты, включающие разработку приборов и методик натурных исследований и компьютерного моделирования процессов массопереноса и прочностно-деформационных свойств почв, грунтов и горных пород в мерзлом и талом состояниях; широко востребованные в практике как в нашей республике, так и за рубежом. Получены новые материалы широкого спектра действия для охраны окружающей среды (сорбенты, мелиоранты почв), препараты, востребованные в бальнеологии, медицине, буровых технологиях (регуляторы реологии буровых дисперсий), разработаны экологобезопасные утилизации зольных отходов при сжигании каустобиолитов, а также технологические особенности термохимической переработки низкокалорийных твердых горючих ископаемых (торф, бурые угли, сланцы), полимерных отходов, отходов биомассы и их смесевых комбинаций с получением высококалорийных энергоносителей различного агрегатного состояния.

Лабораторией использования и охраны торфяных и сапропелевых месторождений представлены итоги детальной разведки месторождений торфа и сапропеля за последние 10 лет, многие из которых переданы для освоения. Разведанные в последние годы балансовые запасы торфа составили более 3,5 млн т, сапропеля – около 2 млн т. На базе разведенного сапропелевого месторождения Прибыловичи в 2014 г. в Лельчицком районе Гомельской области по разработкам Института природопользования НАН Беларуси и при участии специалистов НПЦ Национальной академии наук Беларусь по животноводству построен цех сапропелевой кормовой добавки проектной производительностью 10 тыс. т в год.

Приведены результаты исследований по оценке изменения физико-технических свойств и химического состава торфа на всех стадиях технологического процесса его добычи. С научных позиций проанализированы критерии и предложены существенные дополнения в состав параметров и методику оценку пригодности торфа к глубокой переработке по различным технологиям.

Выполнена комплексная работа по новой Схеме распределения торфяных залежей по направлениям использования на период до 2030 года, которая утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30.12.2015 г. № 1111.

В лаборатории экотехнологий на основании изучения закономерностей сорбционных и водопоглощающих свойств торфа от химического состава и структурной организации его органического вещества научно обоснован подход к созданию высокоэффективных нефте-, газо и водопоглощающих сорбентов. Разработаны технологические решения их производства, применения и утилизации. Организовано опытно-промышленное производство. Проведены производственные испытания с экономическим эффектом.

Установлено, что фенольные соединения органического вещества торфа придают последнему биоцидные свойства. Хранение добывшего торфа в штабеле приводит к существенной потере свободных фенольных соединений и, как следствие, приводит к снижению антисептических свойств. В результате обработки верхового торфа веществами различного химического состава и механизма действия получены композиционные биоцидные материалы. Впервые разработан способ получения нового композиционного материала на основе торфа, способного регулировать воздушно-влажностный режим в замкнутом пространстве и обладающего фунгитоксичными свойствами по отношению к плесневой микрофлоре и дереворазрушающим грибам. Новизна разработок подтверждена патентами Республики Беларусь.

Разработаны биологически активные препараты для животноводства на основе продуктов окислительно-гидролитической переработки торфа и растительного сырья – кормовые добавки и консерванты кормов. Новые

биологически активные кормовые добавки серии Эколин повышают мясную продуктивность молодняка крупного рогатого скота, молочную продуктивность и качество молока высокопродуктивных коров. Консерванты кормов Гумоплюс и Консил, обогащенные гуминовыми веществами и низкомолекулярными органическими кислотами, обеспечивают высокую сохранность питательных веществ в сilosах в процессе длительного хранения и обогащают корма биологически активными соединениями торфа. Производство этих препаратов организовано в опытно-промышленном масштабе.

Лабораторией биогеохимии и агроэкологии представлены новые данные о закономерностях преобразования органического вещества каустобиолитов в химико-технологических и почвенно-биохимических процессах для теоретического и экспериментального обоснования эффективных методов переработки органического сырья, оптимальных составов новой продукции повышенной эффективности с учетом природно-экономической специфики республики.

Ключевые слова: торф; сапропель; бурый уголь; торфяные месторождения; биологически активные вещества.

Для цитирования. Лиштван И. И., Томсон А. Э., Бамбалов Н. Н., Наумова Г. В., Бровка Г. П., Курзо Б. В., Ракович В. А. Исследования по торфу и сапропелю Института природопользования НАН Беларуси на службе экономики Республики Беларусь // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 6–25.

RESEARCH OF PEAT AND SAPROPEL OF THE INSTITUTE FOR NATURE MANAGEMENT OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS ON THE ECONOMICAL SERVICE OF THE REPUBLIC OF BELARUS

**I. I. Lishtvan, A. E. Tomson, N. N. Bambalov, G. V. Naumova,
G. P. Brovka, B. V. Kurzo, V. A. Rakovich**

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

Abstract. The main direction of the theoretical and applied research of the Center of Peat and Sapropel, includes the raw of laboratories, dealing with the development of scientific and technical bases of complex peat and sapropel proceeding with the obtaining of new product and materials for energetics, agriculture, environmental protection, medicine are outlined in the article.

The main results, including the development of the tools and methodic of nature research and the computer modeling of the mass transfer and the substantiality and deformation peculiarities of soils, grounds and rocks in frozen and thaw states, which are in high demand in practice so in the Republic as abroad are represented by the laboratory of physical and chemical mechanics of nature disperse systems. New materials of wide specter use for environmental protection (sorbents, soils ameliorants), products, demanded in balneology, medicine, in drilling technologies (the regulators of drilling disperses rheology) are obtained, the ecologically friendly utilizations of ash wastes during caustobioliths burning, as well as the technological features of the thermochemical processing of low-calorie solid fossil fuels (peat, brown coals, slates), polymeric waste, biomass wastes and their mixture combinations with high-energy sources of various aggregate states are developed.

The laboratory of peat and sapropel deposits use and protection presents the results of the detailed exploration of peat and sapropel deposits over the past 10 years, some of them have been transferred for development. The balance reserves of peat discovered in recent years amounted to more than 3.5 million tons, sapropel – about 2 million tons. Based on the explored Pribylovichi sapropel deposit in 2014 in Lelchitsy district of Gomel region on the development of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus and with the participation of specialists of the National Research Center of the National Academy of Sciences of Belarus for animal husbandry built a gild for sapropel fodder additive with the design capacity of 10 thousand tons per year.

The results of studies on the assessment of changes in the physical and technical properties and chemical composition of peat at all stages of the technological process of its extraction are presented. The criteria have been analyzed from the scientific standpoint and significant additions to the parameters and methodology have been proposed to assess the suitability of peat for deep processing by various technologies.

Comprehensive work was carried out on a new scheme for the distribution of peat deposits in the areas of use for the period up to 2030, which was approved by the decision of the Council of Ministers of the Republic of Belarus on 30.12.2015. No. 1111.

In the laboratory of eco-technologies, based on the study of the regularities of sorption and the water-absorbing properties of peat from the chemical composition and structural organization of its organic matter, an approach for the creation of highly effective oil-gas and water-absorbing sorbents is scientifically substantiated. Technological solutions for their production, use and disposal have been developed. Experimental production has been organized. Production tests were carried out with economic effect.

It has been established that the phenolic compounds of the organic substance of peat give the latter biocidal properties. The storage of extracted peat in the stack leads to the significant loss of free phenolic compounds and, as a consequence, leads to a decrease in antiseptic properties. Peat with the substances of different chemical composition and mechanism of action, composite biocidal materials were obtained as the result of processing. For the first time, a

method has been developed for the production of a new peat-based composite material capable of regulating the air-moisture regime in a confined space and having fungitoxic properties with respect to the mold microflora and wood-destroying fungi. The novelty of the developments is confirmed by the patents of the Republic of Belarus.

Biologically active preparations for animal husbandry were developed on the basis of the products of the oxidative-hydrolytic processing of peat and vegetable raw materials – the feed additives and preservatives of feeds. New biologically active feed additives of the Ecolin series increase the meat productivity of young cattle, the milk productivity and milk quality of highly productive cows. Humoplus and Consil feed preservatives enriched with humic substances and low molecular weight organic acids ensure high preservation of nutrients in silos during long-term storage and enrich feed with biologically active peat compounds. The production of these drugs is organized on an experimental-industrial scale.

The laboratory of biogeochemistry and agroecology presents new data on the regularities of the transformation of the organic substance of caustobioliths in chemical-technological and soil-biochemical processes for the theoretical and experimental substantiation of effective methods for the processing of organic raw materials, the optimal compositions of new products of increased efficiency, taking into account the natural and economic specifics of the republic.

Key words: peat; sapropel; brown coal; peat deposits; biologically active substances.

For citation. Lishtvan I. I., Tomson A. E., Bambalov N. N., Naumova G. V., Brovka G. P., Kurzo B. V., Rakovich V. A. Research of peat and sapropel of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus on the Economical Service of the Republic of Belarus. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 6–25.

Введение. Целью центра по торфу и сапропелю, организованного в Институте природопользования НАН Беларуси в 2017 г., является проведение научных и прикладных исследований, предусматривающих получение новых знаний о торфе и сапропеле, и разработку научно-технических основ их комплексной переработки с получением новых продуктов и материалов для нужд энергетики, сельского хозяйства, промышленности, охраны окружающей среды, поиска и добычи полезных ископаемых, геотехнологии и геоэкологии, медицины.

Объекты и методы исследования. Торф, сапропель, бурый уголь, зольные отходы твердых видов топлива, шламы и солеотвалы калийного производства, гуминовые вещества (ГВ), почва, органоминеральные удобрения, нарушенные торфяные месторождения. Методы исследования основываются на новейших достижениях физико-химической механики, теории массопереноса в природных дисперсных средах и физической химии, химии комплексных соединений, спектральные методы, методы аналитической химии.

Результаты и их обсуждение. Для развития научных исследований по изучению компонентного состава и свойств органических и органоминеральных комплексов торфа и сапропеля, их коллоидно-химических и физико-механических свойств как основы базовых технологий глубокой и комплексной переработки торфа и сапропелей с получением высокодисперсных композиционных и наноматериалов и разработки физико-технических основ, методологии и приборной базы определения деформационно-напряженного состояния горных пород при промерзании и оттаивании лабораторией физико-химической механики природных дисперсных систем ведутся фундаментальные исследования коллоидно-химических и структурно-реологических свойств природных дисперсных сред и гуминовых соединений каустобиолитов; разрабатывается теория и методы трансформации, переноса энергии и вещества при биосферносовместимом использовании твердых горючих ископаемых (торф, бурые угли, сапропели, горючие сланцы) и органогенных сред (почвы, грунты, гидролизный лигнин, биомасса) для получения высококалорийных энергоносителей и минимизации антропогенного нарушения геоэкосистем.

Основными прикладными направлениями исследований лаборатории являются:

– разработка приборов и методик, а также проведение экспериментальных исследований и компьютерного моделирования процессов тепломассопереноса и прочностно-деформационных свойств почв, грунтов и горных пород в талом и мерзлом состояниях;

– разработка на основе физикохимии природных полимеров новых материалов для охраны окружающей среды (рекультивация территорий нарушенных хозяйственной деятельностью, очистка сточных и технологических вод от ионов тяжелых металлов; зеленого обустройства городских, пустынных и засоленных территорий; разработка экологобезопасных компонентов буровых реагентов);

– исследование и оценка эффективности процессов пиролиза и газификации торфа, бурого угля, горючих сланцев, углеводородсодержащих отходов и их смесей в зависимости от соотношения компонентов и параметров течения процесса деструкции с целью получения высококалорийных энергоносителей.

Было установлено, что торф, как и многие горные органогенные породы и грунты, при деформировании и течении проявляет свойства вязко-пластичных дисперсных материалов и относится к реологическим средам с коагуляционными и конденсационно-кристаллическими структурами, напряженное состояние которых при деформации и сдвиге можно описать моделью Шведова–Бенгами. Разработано коллоидно-химическое представление о торфе как полуколлоидно-высокомолекулярной полифракционной гидрофильтральной системе с признаками полиэлектролитов, мик-

ромозаичной гетерогенности и наносистем. Торфяные месторождения и слабые грунты имеют большую биологическую продуктивность и относятся к медленно возобновляемым природным комплексам. В естественном состоянии торф и слабые грунты удерживают большое количество воды разных категорий по энергии связи с твердым веществом. Основная кинетическая единица торфа проницаема для молекул воды и ионов. Она представляет собой агрегаты-ассоциаты макромолекул сосуществующих компонентов-битумов, ГВ, легко- и трудногидролизуемых углеводов, лигнина. При определении направлений использования торфа следует учитывать наличие макро-, микро- и наноструктур. Выделяют внутри и межагрегатные структуры разной компактности. Функциональные группы таких сред определяют гидрофильность [1].

Разработана термодинамическая модель фазового равновесия воды в органогенных природных дисперсных средах, основанная на учете энергетической и энтропийной составляющих химического потенциала влаги, а также на предположении о том, что при промерзании происходит частичная дегидратация агрегатов органоминерального скелета дисперсной среды и ледяные включения формируются в межагрегатном пространстве.

Разработаны теоретические положения миграции влаги и преобразования структуры при промерзании дисперсных сред с легкодеформируемым скелетом, учитывающие влияние прочностных и реологических характеристик скелета породы, геометрию порового пространства и наличие водорастворимых соединений. Экспериментально и теоретически установлено, что поток влаги из талой зоны в мерзлую при постоянной внешней нагрузке пропорционален градиенту температуры в мерзлой зоне [2].

Показано, что наличие в поровом растворе водорастворимых соединений в промерзающей почве снижает миграцию влаги и развиваемое в мерзлой зоне гидростатическое давление в той мере, в какой эти соединения понижают осмотический потенциал влаги, независимо от их природы.

Для определения характеристик тепломассопереноса и прочностных свойств легкодеформируемых горных пород и сред при положительных и отрицательных температурах разработаны методики, создан комплекс приборов и установки, который включает: установку для определения температуры начала замерзания воды в грунтах и растворах, вакуумно-сорбционную камеру, калориметр с контролируемым теплообменом, устройство для определения коэффициента теплопроводности грунтов, установку для комплексного исследования характеристик тепломассопереноса и пучения при промерзании грунтов, устройство для определения сопротивления сдвигу мерзлых грунтов [3].

Разработано оригинальное программное обеспечение, позволяющее вести расчет и визуализацию трехмерных процессов замораживания горных пород с последующей оптимизацией режима замораживания с целью экономии энергетических ресурсов и сокращения времени замораживания. Программа «Сгус 3D» сертифицирована в РФ.

Приведенные разработки использованы для обоснования строительства калийных рудников в Беларусь, России и Туркменистане с применением искусственного замораживания.

В настоящее время лабораторией выполняются договорные работы по заказу ОАО «Белгорхимпром» «Определение теплофизических характеристик месторождения Бамнет Наронг в Королевстве Таиланд» и ООО «Нефтехимпроект» «Расчет формирования температурных полей и энергетических затрат режимов замораживания и оттаивания горного массива при проходке клетевого и скипового стволов на Нежинском (восточная часть) участке Старобинского месторождения калийных солей».

Разработана принципиальная технологическая схема дифференцированного извлечения из зольных отходов бурых углей редких элементов: лантаноидов, циркония, титана и других ценных металлов.

По заказу ГПО «Белтопгаз» ведутся договорные работы по разработке технологий утилизации золы семи торфобрикетных заводов. Подготовлен проект с темой «Разработать способы и элементы технологии комплексной утилизации золы сжигания твердых топлив Республики Беларусь» в ГНТП «Природопользование и экологические риски» на 2016–2020 годы.

Методом ИК- и ЭПР-спектроскопии, а также элементного анализа состава гуминовых препаратов (ГП), их обменной и сорбционной емкости, установлено:

– ГП сорбируют ионы тяжелых металлов (ТМ) в кислой среде и обладают сорбционной емкостью, превышающей емкость обмена ГВ торфа;

– экспериментально показано, что ионы металлов постоянной и переменной валентности обладают принципиальными различиями как по механизму, так и объему сорбции ГВ, т. е. для первых имеет место практически полное взаимодействие с ионообменными группами, а для вторых – взаимодействие по механизму макрокоординации (взаимодействие неспаренных электронов парамагнитных ионов металлов с π-электронами систем полисопряжения ГП). Одновременно показано, что металлы переменной валентности могут проявлять свойства как парамагнитных, так и непарамагнитных катионов в составе ГВ [4];

- впервые экспериментально установлено, что дегуминизированные (ДК) или протогуминовые (ПК) каустобиолиты имеют существенные различия во взаимодействии их с гуминовыми кислотами (ГК) по отношению к катионам ТМ. Показано, что структурные особенности систем полисопряжения ДК обусловливают их высокую сорбцию на карбоксильных группах при $pH \approx 2,0$, а при $pH \approx 7,0$ даже и на гидроксильных. Меньшая сорбционная активность Zn^{2+} по сравнению с Cu^{2+} и Ni^{2+} свидетельствует о вкладе макрокоординации в сорбцию парамагнитных катионов. Установлена существенная зависимость свойств и структуры ДК от вида каустобиолита, перспективность ДК как сырья при получении сорбентов ионов ТМ, обладающих активностью даже в кислой среде [5];
 - экспериментально установлено, что сорбционная активность ДК по отношению к ТМ располагается в ряд $Cu^{2+} > Ni^{2+} > Zn^{2+}$, что свидетельствует об идентичности процессов сорбции ТМ ДК и ГК;
 - показано, что обработка ДК ультразвуком позволяет увеличить цветность фугата, т. е. увеличивает выход в раствор хромофорных соединений. Ультразвук позволяет также повысить статическую обменную емкость примерно в 2,5 раза по сравнению с исходным сырьем;
 - экспериментально установлены пороговые концентрации водорастворимых солевых форм ГК, обладающие поверхностно-активными свойствами, что является принципиальными данными при использовании их в качестве экологобезопасных препаратов в бальнеологии, т. е. как активаторов транспорта ГП через кожный покров человека;
 - полученные результаты научно-исследовательских работ являются исходными для разработки процессов переработки гуминового сырья каустобиолитов и его вторичных производных, т. е. производства новых материалов широкого спектра для охраны окружающей среды (сорбентов, мелиорантов), бальнеологии, медицины, буровых технологий (регуляторов реологии буровых дисперсий), инновационных подходов разработки экологобезопасных технологий производства и утилизации зольных отходов при сжигании каустобиолитов. Разработана нормативно-техническая документация на производство новых материалов и организовано их производство на ряде предприятий Беларуси, а также их экспорт.

Освоение имеющихся в нашей республике запасов бурых углей и горючих сланцев может оказать значительное влияние на ее топливно-энергетический комплекс производство продуктов промышленного, сельскохозяйственного, химического и природоохранного назначений [6].

Прогнозные общие запасы бурых углей Беларуси составляют около 2 млрд т: разведанные – около 160 млн т, в перспективе – около 250 млн т; детально разведанные к настоящему времени – 100 млн т. Наиболее перспективными для промышленного освоения являются месторождения бурых углей: Житковичское, Бриневское и Тонежское. Средняя мощность пластов – 3,0–4,0 м, максимальная – 19,9 м, вскрыши – от 21,0 до 81,0 м. Прогнозные ресурсы бурых углей Лельчицкого месторождения составляют 250 млн т. Пласти имеют толщину 1,2–12,2 м, глубину залегания – от 90,0 до 390,0 м. Запасы угля на участке «Северный» составляют около 110 млн т, промышленные запасы угля – 86 млн т.

Бурые угли Лельчицкого месторождения по степени метаморфизма (содержанию углерода в органической массе) приближаются к каменным углям и относятся к классу Б3 в отличие от землистых бурых углей марки Б1 Житковичского, Бриневского и Тонежского месторождений.

Проведен комплекс исследований по термической переработке бурых углей, включая различные виды пиролиза. Для неогеновых бурых углей Беларуси как наиболее перспективный в топливном направлении можно рассматривать быстрый пиролиз. Изменяя условия пиролиза (скорость нагрева, температуру процесса, различные конструкции аппаратов и др.) в зависимости от выбранного целевого продукта можно получать как жидкие и газообразные, так и твердые продукты пиролиза в заданных соотношениях, что указывает на большие возможности этого метода термохимической переработки углей.

По характеру исходного материала бурые угли относятся к гумусовым и могут рассматриваться как перспективный материал для получения продуктов нетопливного использования (стимуляторы роста растений, мелиоранты, органо-минеральные удобрения, применяемые при бурении скважин углешелочные реагенты и сорбенты). Разработаны технологии получения, наработаны партии указанных продуктов и проведены их широкие испытания.

Бурые угли Лельчицкого месторождения наиболее пригодны для применения в энергетике в качестве топлива для прямого сжигания на энергетических объектах при получении тепловой и электрической энергии. Возможна также их паровоздушная парокислородная газификация с получением генераторного газа для совместного сжигания с природным газом и синтез-газом, который можно использовать для производства жидкых углеводородов (компоненты моторного топлива), спиртов, эфиров и других органических соединений.

Прогнозные запасы горючих сланцев Беларуси оценены в 8,83 млрд т, реальные промышленные запасы горючих сланцев – около 3,6 млрд т. Основные направления использования: технология термической переработки с твердым теплоносителем на основе агрегатов УТТ-3000 с получением из 1 т сланца 70–90 кг «сланцевой нефти», используемой для производства моторного топлива; около 35 m^3 высококалорийного газа – для получения электрической энергии и около 800 кг твердых золь-

ных отходов, которые используют в качестве сырья при производстве строительных материалов и в дорожном строительстве. Перспективна совместная переработка горючих сланцев с бурыми углами.

Переработка растительной биомассы как возобновляемого источника энергии открывает широкие возможности в решении проблемы энергосбережения. Биомасса является четвертым по значению топливом в мире. Согласно прогнозам, ее доля в 2020 г. составит 42–46 % от общей доли возобновляемых источников энергии.

Проведенные исследования пиролиза смесевых композиций биомассы и торфа в стационарном и подвижном слоях показали возможность получения в первую очередь пиролизного газа и кокса. В условиях стационарного слоя пиролиза смесевых композиций из торфа и опилок при 800 °С выход газа составляет порядка 30 % с калорийностью порядка 12,1 МДж/нм³. Выход кокса при этом достигает значения до 35 % с зольностью до 25 %, жидких продуктов (смола + пирогенная вода) – до 33 %. Сравнение теплотворной способности пиролизных газов из торфа и его смесевых композиций с опилками и щепой показало, что газ последних несколько более калорийный (на 5–7 %), вероятно, за счет более низкой влажности исходного материала [7].

При пиролизе в условиях подвижного слоя анализ проводили только для твердых и газообразных продуктов. Обнаружено, что выход кокса (800 °С) примерно такой же, как и в условиях стационарного пиролиза. Пиролизный газ и несконденсированные жидкие продукты в случае смесевых композиций совместно в балансе составляют 60–70 % при несколько большей теплотворной способности (13,35–14,25 МДж/нм³), чем в случае стационарного пиролиза. Более высокую калорийность газа пиролиза подвижного слоя можно объяснить компонентным составом газа, который в данном варианте содержит в своем составе значительно больший процент наиболее калорийной фракции предельных и непредельных углеводородов (3–4 % против 0,7–1,2 % в условиях стационарного пиролиза).

Таким образом, для конверсии отходов биомассы в калорийный пиролизный газ, являющийся наиболее технологичным видом топлива, вполне приемлемым является использование способа пиролиза в подвижном слое. Причем технологически осуществить пиролиз отходов биомассы значительно проще в смеси с торфом: предотвращается зависание легкой и объемной биомассы (опилки) в реакционной зоне пиролизера, осуществляется более равномерная работа подачи сырья шнековым механизмом в реактор.

С одной стороны, всевозрастающие отходы пластмасс, в особенности полиэтилена, создают серьезную экологическую проблему, актуальность решения которой выходит в разряд первоочередных во всем мире. С другой стороны, известно, что горючие газы пиролиза торфа имеют теплоту сгорания порядка 12,5 МДж/нм³. Это примерно в 3,0 раза ниже природного газа, и введение в пиролизуемую массу более высококалорийных полимерных отходов будет способствовать решению задачи как их утилизации, так и получения энергоносителя с более приемлемыми потребительскими свойствами.

Исследовалась возможность утилизации полимерных отходов методом совместного пиролиза с торфом с получением горючих газов повышенной теплотворности.

Были проведены эксперименты по скоростному пиролизу в подвижном слое торфа и торфополимерных смесей (ТПС) с содержанием полиэтилена (ПЭ) в смеси от 5 до 15 % при 800 °С в пиролизере шнекового типа с подвижным слоем топлива. Анализ состава газа пиролиза указал на заметный рост содержания непредельных углеводородов (в 3,0–3,5 раза), метана (в 1,5–2,0 раза) и диоксида углерода (в 1,3–1,5 раза) на фоне некоторого снижения содержания компонентов синтез-газа – водорода и оксида углерода, хотя общее его содержание находится на уровне 60 %.

Как следует из экспериментальных данных, теплотворность газа пиролиза ТПС существенно (на 30–40 %) увеличивается по сравнению с торфом, что указывает на перспективность такого способа утилизации полимерных отходов. Она также зависит от способа проведения пиролиза. К примеру, теплотворность газа, полученного при температуре 800 °С пиролизом смеси торфа с 10 %-ной добавкой ПЭ в стационарных условиях, составляет 12,5 МДж/нм³, а этого же образца в подвижном слое она равна 19,0 МДж/нм³.

В результате проведения геологоразведочных работ на сапропель на водоемах (озерах) и под торфом с организацией производства товарной продукции на основе сапропелей (комплексных удобрений, кормовых добавок, реагентов для буровых работ, лечебных грязей, специальных грунтов и субстратов и др.) лабораторией использования и охраны торфяных и сапропелевых месторождений за последние 10 лет выполнен большой комплекс геологоразведочных работ по оценке и утверждению промышленных запасов торфа и сапропеля на перспективных торфяных и озерных месторождениях, большая часть из которых передана в активную разработку, а остальные находятся на стадии передачи. Разведанные за это время по категории А балансовые запасы торфа составили более 3,5 млн т, а сапропеля – около 2 млн т (см. таблицу). Следует отметить, что на трех вновь разведенных озерных месторождениях организована добыча лечебных грязей (оз. Вальверово для курорта Нарочь, оз. Малая Корчинка – для нового санатория «Плисс», оз. Святое – для санатория «Приднепровский»). Кроме того, на шести торфяных и озерных месторождениях в последние годы начаты или планируются разработки торфа и сапропеля для производства сапропелевых удобрений, кормовых добавок, компонентов буровых растворов, компостов, питательных грунтов и ГП.

Итоги детальной разведки (оценка категории А) и передачи в освоение ресурсов торфа и сапропеля за период 2008–2017 гг.

Results of detailed exploration (assessment of category A) and transfer to development of resources peat and sapropel for the period 2008–2017

№ п/п	Месторождение (участок)	Район	Утвержденный запас по катего- рии А, тыс. т		Протокол и дата его утверждения	Кому передано для освоения	Продукция
			торф	сапропель			
1.	Прибыловичи	Лельчицкий	25,1	476,6	№ 80(2169) от 30.12.2008 г.	ОАО «Лельчиц- кий АгроСервис»	СУ, КД, ЛГ, БР
2.	Буевское	Лиозненский	—	298,9	№ 89(2351) от 12.11.2010 г.	Не передано	СУ
3.	Островское (Островское I и II)	Миорский	381,8	—	№ 34(2415) от 31.03.2011 г.	Не передано	Кусковое топливо
4.	Кандель– Яловец–Ольхово (Ударное)	Лельчицкий	616,2	—	№ 17(2517) от 30.03.2012 г.	ОАО «Лельчиц- кий АгроСервис»	Компосты, сельскохо- зяйственный торф
5.	Милошевичи (Прибыловичи)	Лельчицкий	245,3	312,1	№ 25(2525) от 17.04.2012 г.	На стадии передачи	СУ, компосты
6.	Вальверово	Поставский	—	87,7	№ 40(2540) от 06.07.2012 г.	ОДО «Природ- ные богатства»	ЛГ
7.	Святое	Рогачевский	—	10,4	№ 77(2577) от 28.12.2012 г.	ООО «Гермес-А»	ЛГ
8.	Корытнянщина (Караны)	Осиповичский	—	525,0	№ 13(2593) от 27.02.2013 г.	СООО «Экоарк»	Торфяные пеллеты
9.	Малая Корчинка	Глубокский	—	18,4	№ 81(2839) от 26.11.2015 г.	Санаторий «Плиссса»	ЛГ
10.	Туршовка– Чертово (Захаровка)	Крупский	2171,0	—	№ 80(2838) от 26.11.2015 г.	Не передано	Комплексного назначение
11.	Великое	Мозырский	—	56,8	№ 38(2894) от 30.06.2016 г.	Фермерское хозяйство «Пугач В. В.»	СУ
12.	Уходва (Млынок-2)	Пружанский	68,1	106,9	№ 42(2985) от 05.07.2017 г.	На стадии передачи	ГП, грунты, СУ
13.	Нивское (Южный)	Кличевский	28,8	101,5	№ 66(3009) от 30.12.2017 г.	Готовится к передаче	СУ, грунты, ГП
Всего:			3536,3	1994,3			—

Примечание. Обозначение продукции из сапропеля: СУ – сапропелевые удобрения; КД – кормовая добавка; ЛГ – лечебные грязи; БР – буровые растворы; ГП – гуминовые препараты.

Показательно в этом отношении освоение разведенного в 2008 г. сапропелевого месторождения Прибыловичи, сапропель которого добывается попутно с залегающим рядом торфом. Месторождение используется комплексно для производства сапропелевых удобрений, питательных грунтов, компостов и сапропелевых кормовых добавок. На базе данного месторождения в 2014 г. в Лельчицком районе Гомельской области по разработкам Института природопользования НАН Беларуси и при участии специалистов НПЦ Национальной академии наук Беларуси по животноводству построен цех сапропелевой кормовой добавки проектной производительностью 10 тыс. т в год. Цех обеспечивает кормовой добавкой из местного сырья комбикормовые заводы юго-восточного региона республики.

Для практических целей совершенствовалась методология разведки торфяных месторождений с залежами сапропеля [8]. В последние годы при поиске перспективных для освоения участков особое внимание обращается на участки совместного залегания торфа и сапропеля. С учетом новых данных о запасах и качественным характеристикам сапропеля в озерах и на торфяных месторождениях разработана методика, составлена карта сапропелевых месторождений и выполнено районирование территории Беларуси по вещественно-генетическим типам озерного осадконакопления [9, 10]. Кроме того, проведена оценка перспективных сырьевых баз торфа и сапропеля для организации производств по их комплексной переработке. С помощью современных методов исследования изучались генетические особенности формирования залежей сапропеля в типичных озерах Беларуси [11].

Под руководством доктора технических наук А. П. Гаврильчика выполнен комплекс исследований по изменению физико-технических свойств и химического состава торфа на всех стадиях техно-

логического процесса добычи торфа. Для этого проведен анализ используемых технологий добычи торфа (резкой, багерный, экскаваторный, гидравлический и фрезерный) на предмет наличия степени изменения основных характеристик исходного торфа, а также приведены методические подходы для выбора технологий освоения торфяных месторождений. Полученные данные о количественных и качественных изменениях компонентного состава (углеводов, ГВ, битумов) различных видов торфа в условиях антропогенно нарушенной торфяной залежи в результате осушения, в процессах удаления влаги при сушке торфа и хранении добытой продукции позволили систематизировать основные закономерности химических превращений компонентного состава торфа, инициированных механическими воздействиями [12]. Исследования показали возможности использования механохимической активации для интенсификации переработки торфа при различных направлениях использования. В результате исследований предложены способы направленного модифицирования торфа для получения на основе него препаратов различного назначения (гуминовый краситель, ингибитор коррозии металлов, ростстимулирующие ГП, битумная продукция, формованные изделия и окускованная продукция) [13].

С этой целью проанализированы данные по направлениям и эффективности использования торфяного фонда Республики Беларусь за прошедшие десятилетия и поставлены новые задачи, продиктованные реалиями современной экономики. Основой концепции использования торфа на современном этапе является переход торфяной отрасли к комплексному освоению торфяных ресурсов, который может быть реализован на основе применения инновационных технологий по глубокой переработке торфа с получением новой продукции многоцелевого назначения для сельского хозяйства, промышленности и охраны окружающей среды [14, 15].

С научных позиций проанализированы критерии и предложены существенные дополнения в состав уточненных параметров, методика оценки пригодности торфа к глубокой переработке по различным технологиям. На основании проведенных исследований предложены также способы и методы определения дополнительных качественных показателей торфа для обоснованного выбора объектов в качестве сырьевых баз для выпуска новой продукции [16].

На втором этапе исследований в разрезе всех областей республики получены обобщенные характеристики их торфяного фонда, включающие степень изученности, закономерности распределения запасов по целевым фондам и по важнейшим характеристикам залежей (площади, глубине слоя, степени разложения и зольности). С использованием этих систематизированных данных выполнен экспертный выбор пригодных для комплексного освоения торфяных месторождений по всем областям республики в разрезе административных районов. Перечень этих объектов включает описание современного состояния и вариант комплексного использования. Предложено всю продукцию глубокой переработки торфа сгруппировать в шесть классов по принципам разделения на пригодные типы и виды торфа и интервалы основных характеристик – степени разложения и зольности.

Проведен расчет экономической эффективности производств по глубокой переработке торфа и выпуску целого ряда продуктов в сравнении с традиционным направлением использования фрезерного торфа для топлива, свидетельствующий, что в первом случае индекс рентабельности инвестиций, внутренняя норма прибыли и срок их окупаемости в 5,0–6,0 раз благоприятнее. Важным направлением эколого-экономической оценки перспективных направлений использования торфяных ресурсов Беларуси кроме комплексного использования являются оценка торфяных ресурсов природоохранного назначения, сравнение экономических выгод от использования полученной продукции переработки торфа с возможным экологическим ущербом при промышленном освоении торфяных месторождений [17].

Наибольшее количество объектов из перечня торфяных месторождений, пригодных для комплексного освоения, отнесены к широко распространенным классам продукции: вариант 1 (мелиоранты, органоминеральные удобрения, сельскохозяйственные субстраты и компосты) и вариант 3 (энергетическое и бытовое топливо). Полученные материалы оформлены в виде базы данных в формате MS Access, включающей перечень торфяных месторождений, пригодных для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективы. Кроме характеристик торфяных месторождений разработанная база данных (БД) включает необходимые формы, отчеты и запросы, позволяющие оперативно выполнить оценку имеющихся запасов торфа с заданными качественными характеристиками по направлениям комплексного использования. БД обеспечивает выбор сырьевых баз при планировании и проектировании новых инновационных производств.

Всего в разработанный перечень перспективных для комплексного освоения торфяных месторождений включено 196 объектов общей площадью 84 213 га с промышленными запасами торфа 226,8 млн т. Варианты использования обоснованы экспертыным анализом исходных данных по объектам и являются объективной основой при выборе сырьевых баз для проектирования новых инновационных производств по выпуску новой продукции многоцелевого назначения с высокой добавленной стоимостью. Выполнен также прогнозный обобщенный подсчет запасов торфа в областях республики

для рассмотренного перечня продукции комплексного освоения. При этом из анализа исключены торфяные месторождения, находящиеся в природоохранном фонде. Итог исследований реализован в виде компьютерного запроса данных по базе торфяных месторождений с учетом ограниченного набора параметров торфяной залежи: степени разложения, зольности и запасов. Полученные результаты свидетельствуют о возможности классификации рассматриваемого перечня продукции комплексного освоения на три перспективных группы по объемам промышленных запасов.

В связи с тем, что в 2010 г. завершилось действие Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Республики Беларусь на период до 2010 года, в последние годы выполнен большой комплекс работ по разработке новой Схемы. В научном и практическом плане задача состояла в перераспределении торфяных ресурсов по направлениям использования с учетом идеологии рационального освоения – оптимальной полноты выявления потенциальных возможностей этого ресурса в создании продукции на его основе [18].

Реализация стоящих задач требовала в первую очередь решения многих вопросов научно-исследовательского и прикладного характера, включающих обоснование направлений освоения каждого объекта с учетом экологобезопасности и ресурсосбережения. Необходимо было также обосновать оптимальные технологии освоения торфяных ресурсов, усовершенствовать критерии распределения объектов по целевым фондам, собрать данные по современному состоянию и использованию всех объектов торфяного фонда республики. На основании системного анализа собранного материала с привлечением дополнительной информации, в том числе данных о роли торфяных месторождений в природной территориальной системе и потребности региона в торфяных ресурсах, выполнены исследования по новому перераспределению торфяных месторождений по направлениям использования. Результаты этой работы прошли многочисленные согласования со специалистами исполнительных органов республики на местах и явились основой для создания нормативного документа «Схемы распределения торфянников по направлениям использования на период до 2030 года», который утвержден постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30.12.2015 г. № 1111.

В связи с переориентацией многих торфодобывающих предприятий на новую, востребованную на рынке продукцию, в рамках ГНТП «Природопользование и экологические риски» на примере торфопредприятия «Филиал «Слуцкий» ОАО «Старобинский торфобрикетный завод», разработана система мер по оптимизации состава и объемов выпуска продукции комплексной переработки торфа и сапропеля с учетом потребностей, возможностей сырьевой базы и экономической эффективности производства.

На основании анализа геологоразведочных данных по запасам торфа и сапропеля, собранных собственными силами данных по сырьевой базе, а также изученной в маркетинговых исследованиях потребности Минского региона в продукции на основе торфа и сапропеля, разработана и предложена к производству на данном предприятии следующая продукция: кусковой торф, торфосапропелевое удобрение, ГП Тосагум-М, сорбционно-антисептический материал и торфосапропелевые грунты. На данную продукцию разработана нормативно-техническая документация для организации производства. Экономическая оценка предложенной продукции показала, что совместное ее производство обеспечивает высокие показатели инвестиционной эффективности: внутренняя норма доходности составит 34,5 %, срок окупаемости капиталовложений – 2,8 года.

В области исследований по организации производства и использования активных углей в соответствии с протоколом поручений заместителя Премьер-министра Республики Беларусь В. И. Семашко от 26.02.2015 г. № 34/Зпр. Институт природопользования НАН Беларуси в 2015 г. завершил выполнение работ по определению возможности получения в опытно-промышленных масштабах продуктов глубокой переработки торфа [19, 20]. На основании проведенных маркетинговых исследований был разработан бизнес-план создания комбината по комплексной глубокой переработке торфяного сырья месторождения Туршовка–Чертово Крупского района, где в качестве одного из базовых продуктов, предусмотренных к производству, были определены активные угли (АУ) из торфа. В настоящее время применение адсорбционных технологий на основе АУ интенсивно развивается во всем мире, так как с их помощью решается широкий спектр вопросов во многих отраслях народного хозяйства, в том числе в медицине и здравоохранении, питьевом водоснабжении, очистке сточных и оборотных вод. В мировой практике рынок АУ стремительно растет. По мнению российских экспертов, объем рынка АУ России в 2018 г может составить 20 тыс. т в год при средней цене 2500 долл. США за 1 т [21].

В Беларуси торфяные активные угли для промышленных нужд до настоящего времени не производятся. Основу потребления составляет импорт древесных и угольных активных углей марок АГ-3, БАУ, ДАК, ОУ-А, ОА-ВК. Учитывая это, в 2017 г. предприняты практические шаги для создания в республике опытно-промышленного производства активных углей на основе кускового торфа. Используя ранее полученные данные о требуемых качественных характеристиках сырья для производства АУ,

на торфяном месторождении Туршовка–Чертово добыт кусковый торф, из которого АО «Электростальское НПО «Неорганика» (РФ) произведена опытная партия активных углей в количестве 160 кг. По заключению специалистов указанного объединения, которое является ведущим предприятием России в области производства АУ, и собственных исследований нормируемых показателей полученной продукции, качество изготовленной опытной партии АУ соответствует промышленно выпускаемым углем марки БАУ. В измельченной форме (размер частиц – менее 100 мкм) он идентичен осветляющим углем марок ОУ-А, ОУ-Б, ОУ-Г по ГОСТ 4453-74, полученных путем размола активного угля БАУ.

В настоящее время проводятся работы по оценке потребности полученных торфяных углей разными субъектами хозяйствования Республики Беларусь. Одновременно идет подготовка проекта, направленного на создание в республике первого действующего опытно-промышленного производства АУ производительностью 100 т/год.

При освоении сапропелевых месторождений кроме подбора перспективного для разработки месторождения и оборудования, всесторонней характеристики сапропелевого сырья актуальной задачей является сушка заготовленного сапропеля. Полученные ранее в полевых и лабораторных условиях экспериментальные данные по продолжительности сушки сапропеля [22] нуждаются в теоретическом обосновании.

Разрабатываются инженерные методы расчета сушки сапропеля в полевых условиях, которые направлены на решение практико-ориентированных задач научного сопровождения при проектировании и обосновании новых технологий освоения месторождений сапропеля с получением различных видов продуктов сельскохозяйственного, бальнеологического и иного назначения.

Исследования кинетики сушки, которая является одним из самых энергоемких процессов превращения сапропеля в полезный продукт, основаны на современной теории сушки коллоидных капиллярно-пористых тел, основоположником которой является А. В. Лыков, классификации форм связи влаги с материалом, разработанной П. А. Ребиндером и развитой в работах М.П. Воларовича и И. И. Лиштвана, работах российских ученых А. Е. Афанасьева и С. Н. Гамаюнова по изучению физических процессов и процессов структурообразования при сушке сапропеля.

Методы расчета учитывают специфические для сапропеля почвенно-природные и технологические факторы. С учетом этих факторов выявлены диапазоны колебаний начальной и равновесной влаги, плотности и усадочных явлений, интегральный показатель, позволяющий учитывать метеорологические факторы при сушке в широких диапазонах их изменения.

В результате разработки научных и экспериментальных основ направленной модификации ископаемого и вторичного органического сырья с целью получения новых композиционных материалов и биологически активных препаратов с заданными свойствами лабораторией экотехнологий показано, что основным фактором, определяющим целесообразность использования торфа и продуктов его переработки в качестве биоцидного средства в медицине, ветеринарии, растениеводстве, является наличие широкого спектра биологически активных свободных фенольных соединений, проявляющих антиоксидантную, антибактериальную и антигрибковую активность. Известно [23], что содержание свободных фенольных соединений и органических кислот в верховом торфе определяется не глубиной его залегания, а видом, и уменьшается с ростом степени разложения. Микробиологическое тестирование показало, что верховой торф малой степени разложения обладает антибактериальной активностью, причем максимальной – торф, последовательно лишенный битумов, водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, но не препятствует росту и развитию плесневой микрофлоры. Исследования показали, что придать торфу фунгицидность возможно путем модификации его поверхности фунгицидными средствами. В качестве таковых исследовалась эффективность применения медьсодержащих препаратов, фунгицидного средства на основе четвертичных аммониевых солей (ЧАС), средства на основе перекисных соединений (биоцид–окислитель) и пероксида кальция, который является не только дезинфицирующим, но и структурирующим агентом.

Фунгицидный медьсодержащий препарат. В качестве основы использовался верховой торф со степенью разложения 10–15 %, фунгицидная добавка – раствор сернокислой меди.

Для углеродсодержащих препаратов, модифицированных соединениями меди (II), известно [24], что они могут содержать как водорастворимую форму – молекулярно сорбированную, находящуюся в межслоевом или внутрипоровом пространстве, так и кислоторастворимую – в виде гидроксида солей или катионообменной связанный меди (II). Такое многообразие форм связывания меди открывает возможность получения препаратов с регулируемыми количеством и скоростью выделения фунгицидных и бактерицидных форм меди в окружающую среду. При этом вполне вероятно получение высокоактивных форм фунгицида (бактерицида) с меньшим расходом меди и более низкой токсичностью, чем в известных медьсодержащих препаратах.

Основой для разработки комплексных биозащитных препаратов пролонгированного действия явилось изучение методами ИК- и ЭПР-спектроскопии механизма связывания ионов меди с торфом. Было установлено влияние форм связывания меди с торфом на фунгицидность и фитотоксичность модифицированных препаратов. Показано, что обработка верхового торфа растворами сульфата меди придает ему способность ингибировать рост плесневых грибов, обусловленную наличием слабосвязанных «макроординированных» ионов меди в количестве 0,2–6,2 мг-экв/г, находящихся в межслоевом и внутрипоровом пространстве.

Композиционный фунгитоксичный материал на основе торфа, модифицированного ЧАС и перекисными соединениями (препарат «Крышталь»). Представляло интерес получение композиционного материала с фунгитоксичными свойствами обработкой торфа препаратами на основе ЧАС и перекисных соединений. Модификация торфа проводилась как исходными растворами товарных препаратов ЧАС и «Крышталь», так и при разбавлении их в соотношении 1:1; 1:2; 1:3 с гидромодулем 1:3 (торф:фунгицид). Микробиологическое тестирование показало, что применение исходных препаратов ЧАС и «Крышталь» для получения композиционных материалов приводит к 100 %-ному ингибированию роста и развития плесневых грибов. Снижение концентрации товарного фунгицидного препарата «Крышталь» в 4,0 раза позволяет сохранить фунгицидные свойства композиционного материала и обеспечивает 100 %-ное угнетение развития гриба *Aspergillus niger*.

Оценка эффективности применения новых композиционных материалов для хранения яблок сорта Антоновский, показала, что модифицированный торф способствует уменьшению потери влаги и порчи плодов. В конце опыта к 28-м суткам хранения яблок признаки поражения гнилью отмечены у 61,5 % плодов, в то время как этот показатель для Си-формы торфа составил 32,5 %, а для торфа, обработанного препаратом «Крышталь», – 30,8 %.

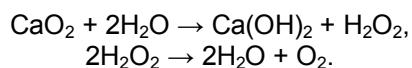
Новизна данных разработок подтверждена патентами Республики Беларусь на изобретение № 13337 «Состав для хранения и транспортировки цветочной и плодовоощной продукции» и № 18890 «Защитный состав для хранения и транспортировки плодовоощной продукции и способ его получения».

Композиционный фунгитоксичный материал на основе торфа и структурирующих и модифицирующих кальций-содержащих компонентов. Широкое применение находят сорбционные материалы, связывающие избыточную влагу без пересушивания, позволяющие поддерживать допустимый уровень влажности в замкнутом пространстве даже в условиях нерегулируемого температурно-влажностного режима. Хорошо известны сорбционные свойства торфа, некоторые виды которого способны удерживать массу воды, в несколько раз превышающую их собственный вес. Полная влагоемкость торфа верхового, переходного и низинного типов лежит в пределах 640–3000 %, но самой высокой влагоемкостью (1400–4300 %) на фоне других видов торфа выделяется сфагновый торф мховой группы. Такой же высокой влагоемкостью характеризуются и их генетические предшественники – сфагновые мхи, способные поглощать воду в десятки раз больше собственной сухой массы [25]. Однако на поверхности влагонасыщенного торфа создаются благоприятные условия, с точки зрения влажностного режима, для роста и развития плесневых грибов и при повышении влажности сам торф становится питательным субстратом для плесневых грибов.

С целью придания торфу фунгитоксичных свойств разработан композиционный материал на основе верхового торфа, модифицированный введением пероксида кальция, содержание которого варьировалось в пределах 1–5 % на сухое вещество торфа. Данные ИК-спектроскопических исследований показали, что при введении в верховой торф пероксида кальция от 1 до 4 % происходит монотонное уменьшение полосы поглощения свободных карбоксильных групп одновременно с ростом полос карбоксилат ионов – 1600 и 1420 cm^{-1} , что свидетельствует о преимущественном связывании кальция ионообменными группами.

Микробиологическое тестирование влияния присутствия образцов модифицированного торфа в замкнутом пространстве на рост и развитие плесневых грибов показало, что введение в торф пероксида кальция в количестве 4–5 % снижает микробную обсемененность материала в 10,0–20,0 раз и полностью подавляет развитие гриба *Aspergillus niger*.

Ингибирование роста плесневых грибов на модифицированном торфе, находящемся в замкнутом пространстве, связано с дезинфицирующим действием атомарного кислорода, который выделяется при взаимодействии пероксида кальция с избыточной влагой, поглощенной композиционным материалом, и обеспечивает пролонгированное действие такого материала в течение длительного времени:



Новизна данной разработки подтверждена патентом Республики Беларусь на изобретение № 18819 «Композиционный материал для защиты от плесневения и способ его получения».

В лаборатории экотехнологий проведен также комплекс работ, направленных на создание высокоэффективных нефтепоглощающих материалов на основе торфа, разработку технических решений их применения и утилизацию. С целью научного обоснования подхода к выбору торфяного сырья для создания нефтесорбентов на его основе проведены комплексные исследования по выявлению закономерностей сорбционных свойств торфа от его вида, степени разложения, дисперсности. Установлено, что определяющую роль при поглощении как нефти, так и воды играет структура сорбентов. Наибольшей поглотительной способностью обладает верховой малоразложившийся торф моховой и травяной групп с губчатой и волокнистой структурой, который рекомендован для производства нефтесорбента, выпуск которого наложен на опытно-промышленной установке ООО «ЭкоГранТорф» в г. п. Зеленый бор Смолевичского района Минской области.

Многолетние исследования ионообменных и сорбционных свойств торфа показали перспективность его применения для обезвреживания газовых выбросов предприятий сельскохозяйственного профиля и как компонента подстилочного материала при напольном выращивании цыплят-бройлеров. На основании результатов исследований физико-химических свойств различных видов торфа, отличающихся ботаническим, фракционным составом, степенью разложения научно обоснованы критерии отбора торфяного сырья для производства гранулированного сорбционного материала на его основе, используемого в качестве добавки к традиционно применяемой подстилке при выращивании птицы. Гранулированный сорбционный материал на основе торфа, производимый по технологии, разработанной в Институте природопользования НАН Беларуси совместно с ООО «Эко-ГранТорф», испытан в производственных условиях на ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский» (Беларусь) в качестве дополнительного компонента в подстилочный материал. В результате производственных испытаний, благодаря повышенной поглотительной способности торфа и композиционных материалов на его основе по отношению к влаге и аммиаку в сочетании с его выраженными антисептическими свойствами, показано, что в опытном птичнике снизился падеж птицы на 75 %, увеличился средний вес птицы на 8,7 %, снизились потери птицы на санитарном убое на 30 %. Экономический эффект от комбинированной подстилки в одном птичнике за счет дополнительно продукции составил 6,3 тыс. долл. США.

На основе продуктов окислительно-гидролитической переработки природного сырья разработаны биологически активные препараты для животноводства – кормовые добавки и консерванты кормов.

В качестве сырья для получения таких кормовых добавок научно обосновано и предложено использовать торф, богатый ГВ, а также отходы пищевых производств, обогащенные пектинами, меланоидинами, аминокислотами, карбоновыми кислотами и другими биологически активными веществами (ростки солода, дубовый экстракт и др.).

Установлено, что ГВ и меланоидины способны значительно активизировать обменные, энергетические и транспортные процессы, оказывать антитоксическое действие, проявлять свойства иммуномодуляторов и адаптогенов. Выявлено что эти соединения обладают также высокой антиоксидантной активностью, т. е. способны подавлять свободнорадикальное окисление и защищать организм животных от его пагубного влияния [26]. Это позволяет использовать гумат- и меланоидинсодержащие кормовые добавки не только для активизации обменных процессов, повышения продуктивности животных, снижения их заболеваемости и падежа молодняка, но и для снятия оксидативного стресса различного происхождения у сельскохозяйственных животных.

С использованием методов окислительно-гидролитической деструкции смешанного торфо-растительного сырья (торф, ростки солода, дубовый экстракт) разработана серия корректирующих биологически активных кормовых добавок для активизации обмена веществ и повышения иммунитета сельскохозяйственных животных. В составе добавок преобладают ГК (2,86 %) и меланоидины (1,54 %) [27].

Кормовые добавки серии Эколин прошли опытно-производственные испытания на экспериментальной базе «Будогово» НПЦ НАН Беларуси по животноводству, а также широкую производственную проверку в хозяйствах республики. Специалистами этого центра установлено, что Эколин способствует нормализации обмена веществ, активизации гемопоэза и неспецифических факторов защиты организма. Скармливание Эколина в составе рациона увеличивает среднесуточный удой, повышает качество молока по жиру и белку при одновременном снижении нитратов в молоке на 19,5 %.

Совместно с РУП «Институт экспериментальной ветеринарии имени С. Н. Вышеслесского» создан комплексный гуматсодержащий препарат для птицеводства Гумосил, включающий такие жизненно важные микроэлементы, как селен и йод. Установлено, что под воздействием препарата повышается сохранность поголовья цыплят-бройлеров и их среднестатистические привесы. У курнесушек повышаются яйценоскость и качественные показатели яиц, в которых возрастает содержание витамина А и каротиноидов [28].

В последние годы в лаборатории экотехнологий уделяется большое внимание разработке консервантов кормов методами направленной химической деструкции торфа, способствующей обогащению получаемых продуктов соединениями, обладающими консервирующими свойствами. Для усиления этих свойств в состав консервантов вводят азотсодержащие добавки [20, 21]. Разработаны консерванты: Гумоплюс – для консервирования влажного плющеного зерна и Консил – для зеленых, в том числе трудносилосуемых кормов. Основой новых консервантов являются продукты окислительной деструкции торфа, которые включают в свой состав ГК, широкий спектр карбоновых и фенолкарбоновых кислот, а также фенольные соединения. Эти консерванты проявляют высокие антиоксидантные свойства и, кроме того, способны угнетать жизнедеятельность микрофлоры в процессе хранения корма, что обеспечивает высокий уровень сохранности питательных веществ (протеина – 90–95 %, сырого жира – 97–98%).

В связи с наличием в составе новых консервантов биологически активных соединений и обогащения ими получаемых силосов они положительно воздействуют на обменные процессы и иммунитет животных, что подтверждают их испытания по скармливанию силоса, заготовленного с применением Консила, молодняку крупного рогатого скота. Установлено, что использование данного силоса в составе рационов повышает их продуктивность на 4,5 % при снижении затрат кормов на 3,4 % и себестоимости продукции на 5,0 % [29].

Комплексный характер биологического действия, технологичность применения, низкая себестоимость, длительный срок хранения и обогащение силоса биологически активными веществами определяют конкурентоспособность новых консервантов на отечественном и мировом рынках.

Ветеринарно-токсикологические исследования новых кормовых добавок и консервантов кормов показали, что они безвредны для животных и относятся к малоопасным веществам 4-го класса опасности. Рекомендации по их применению утверждены на заседании научно-технического совета Главного управления интенсификации животноводства Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

На кормовые добавки, консерванты кормов и технологии их производства разработана нормативно-техническая документация, что позволило освоить их производство в опытно-промышленном масштабе в Червенском районе Минской области. На опытно-промышленной установке налажено производство консервантов кормов Гумоплюс и Консил. Ежегодно для нужд республики выпускается от 150 до 200 т новых консервантов, которые реализуются в хозяйствах отдельных областей Беларуси. В настоящее время решается вопрос об организации более крупного производства ГП различного назначения в составе комбината по комплексной переработке торфа.

При исследовании методов переработки каустобиолитов для получения биологически активных микроэлементных гуминовых удобрений, новых видов органоминеральных удобрений, мелиорантов и другой продукции повышенной эффективности для сельского хозяйства и охраны природы лабораторией биогеохимии и агрозоологии установлены новые закономерности преобразования ГВ.

Установлена закономерность нелинейного увеличения выхода ГВ из торфа при обработке щелочью и аммиаком с повышением температуры до 96–98 °C их выход возрастает, а при дальнейшем повышении температуры до 120–140 °C снижается, либо не возрастает. Установлено, что предварительный кислотный гидролиз торфа со степенью разложения 35 % и более значительно снижает выход ГВ. Экспериментально показано, что данные технологические режимы практически не изменяют биологическую активность ГВ, но влияют на их выход, затраты химических реагентов и тепловой энергии на получение 1 кг ГВ. Эти результаты использованы при обосновании энергосберегающих технологий получения ГВ из торфа, в том числе их водорастворимых фракций [30].

Установлено, что фракция ГК, извлекаемая из торфа водным аммиаком, имеет повышенное (до 52 %) содержание веществ, гидролизуемых 2–5 %-ными растворами серной и соляной кислот и высокий порог коагуляции двухвалентными ионами (до 46 мг-экв BaCl_2 / 1 л 0,02 %-ного раствора) [31]. Этот результат может быть использован при получении геотехнологических растворов для извлечения редких и рассеянных металлов из руд методами кучного и подземного выщелачивания, а также новых видов биологически активных жидких микроэлементных удобрений и структурообразователей почв.

Осаждение ГВ электролитами из водных и щелочных растворов происходит в два этапа: первый – преобразование ионных растворов в коллоидные; второй – снижение агрегативной устойчивости, слипание частиц и образование осадков. На первом этапе механизмы преобразования истинных растворов в коллоидные различны в зависимости от величины pH: в кислой среде за счет водородных связей сначала образуются ассоциаты из нескольких молекул ГВ, а затем – микроагрегаты (микцеллы); в щелочной и нейтральной средах образование микроагрегатов идет за счет объединения многих молекул через мостики поливалентных катионов (Ca^{2+} , Ba^{2+} , Fe^{3+} и др.); при высыпывании ГВ

из истинных растворов коллоидные частицы образуются за счет вытеснения отдельных молекул из дисперсионной среды, а затем при соприкосновении молекул по гидрофобным участкам образуются надмолекулярные структуры с поверхностью раздела фаз – мицеллы, или микроагрегаты коллоидных размеров. Растворы ГВ термодинамически неустойчивы, поэтому на втором этапе происходит укрупнение и осаждение их частиц [32].

Выявлены закономерности взаимодействия и условия совместного сосуществования в щелочных растворах ГВ и ионов меди, марганца, железа и цинка и на этой основе разработаны способы получения жидких биологически активных микроэлементных гуминовых удобрений. Общая концентрация катионов в таких растворах может достигать 50 г/дм³. Принципиально важно, чтобы до введения ГВ в растворе находились комплексные соединения указанных катионов с аммиаком и трилоном Б. При этом:

– концентрация трилана Б должна быть выше стехиометрически рассчитанного количества на 10–20 г/дм³. Введение трилана Б выше указанных количеств приводит к образованию пересыщенных растворов микроудобрений и выпадению осадка, введение меньших количеств – к выпадению осадка при хранении [33, 34];

– концентрация аммиака зависит природы микроэлементов (катионы меди, марганца, железа и цинка) и при разработке составов подбирается эмпирическим путем. Недостаточное количество аммиака приводит к образованию осадка в микроудобрении при хранении, а избыток – к увеличению pH растворов, что также является нежелательным.

Установлено, что растворы ГВ из окисленного пероксидом водорода торфа взаимодействуют с двухвалентными ионами меди, цинка и марганца с образованием стабильных водорастворимых комплексов, в результате чего они не коагулируют даже при высоком (100 г/дм³ и выше) содержании в растворе ионов указанных металлов.

Отработаны технологические режимы получения устойчивых гуминовых комплексов с медью, цинком и бором в концентрациях и диапазонах pH, благоприятных для растений. Результаты внедряются в ОАО «Зеленоборское», где построен цех и организован выпуск микроэлементных удобрений «Элегум» [35].

Экспериментально установлено, что под воздействием кавитационной обработки водной суспензии торфа выход ГК увеличивается в 1,8–2,0 раза по сравнению с торфом, не подвергнутым такой обработке. При этом выход ФК практически не изменяется. При обработке щелочной суспензии торфа, наоборот, выход ГК уменьшается, а выход ФК возрастает. Соотношение между ГК и ФК в конечном экстракте после кавитационной обработки в водной среде составляет от 1,0 до 6,56, а в щелочной среде – от 1,0 до 1,5. Большие различия в выходе ГК и ФК связаны с тем, что в водной суспензии кавитационному воздействию подвергаются ГК, упакованные в надмолекулярные структуры, а в щелочной среде – гуматы натрия в ионно-дисперсной форме, поэтому процессы окисления ГВ идут по-разному [36].

Установлена закономерность волнобразного увеличения выхода и концентрации водорастворимых веществ в процессе гидродинамической кавитационной обработки торфа из-за параллельного течения процессов деструкции органических соединений (приводящих к образованию водорастворимых соединений) и конденсации (приводящей к образованию осадка). Под воздействием гидродинамической кавитационной обработки торфа в водном растворе увеличивается концентрация водорастворимых веществ в 2,6–6,8 раза по сравнению с исходным сырьем, при этом общий выход водорастворимых веществ из верхового торфа в 2,0 раза выше, чем из низинного. Наибольший выход водорастворимых веществ при кавитационной обработке торфа и максимальное их обогащение растворимыми ГВ достигаются в течение 40–50 мин, дальнейшее воздействие кавитации на суспензию торфа снижает их выход и оптическую плотность.

Сочетанием кавитационной обработки и окисления торфа пероксидом водорода получено 10–26-кратное увеличение выхода водорастворимых веществ без применения щелочных реагентов, в результате чего величина pH суспензии снижается с 7,3–7,9 до 3,0–3,5. Предварительная кавитационная обработка торфа перед окислительной деструкцией пероксидом водорода позволяет уменьшить расход окислителя в 1,5 раза.

Установлен факт образования водорастворимых гуминовых соединений в сапропеле органического и кремнеземистого типов в процессе гидродинамической кавитационной обработки и модификации нитратом аммония либо карбамидом. При этом увеличение массовых долей ГВ и трудногидролизуемых веществ происходит за счет уменьшения доли негидролизуемого остатка [37].

Процессы окислительной деструкции низинного и верхового торфа пероксидом водорода зависят от содержания в них соединений железа. Добавка солей железа в верховой пущевый торф приводит к разогреву реакционной смеси, но не увеличивает выход фульвоподобных веществ. Удаление

соединений железа из низинного торфа предотвращает разогревание реакционной смеси и увеличивает выход фульвоподобных веществ [38].

Выявлена узкая направленность стимулирующего действия промышленных ГП: на энергию прорастания и всхожесть растений лучше влияют гидрогумин, β -гумин, оксигумат, а на морфологию проростков – экстракт водорослей, α - и β -гумин, оксидат торфа и оксигумат. При этом препараты ГВ, выделенные из торфа при температуре 20–22 °C, имели большую биологическую активность по сравнению с препаратами, выделенными при температуре 96–98 °C, превышая контрольные показатели по высоте и массе растений, длине и массе корней на 12–67 %, в то время как у ГВ, полученных при температуре 96–98 °C, эти показатели были выше лишь на 14–15 % (корни), а для надземной части – ниже контроля на 6–13 %. Биологическая активность ГК и ФК, выделенных из торфа при температуре 20 °C, наоборот, была ниже, чем для препаратов, выделенных при температуре 96 °C.

Установлена закономерность изменения коэффициента энергетической эффективности (k) создаваемых органических и органоминеральных удобрительных и мелиорирующих материалов в зависимости от глубины биологической и физико-химической переработки различных видов сырья (торф, сапропель, навоз, растительные отходы, биогумус, минеральные добавки). Такие продукты располагаются в ряд от менее до максимально преобразованных с возрастанием коэффициента энергетической эффективности: торф (Т) – $k = 0,4\text{--}0,7$; торфо-навозные компости (ТНК) – $k = 1,7\text{--}1,9$; сбалансированные органоминеральные удобрения (СОМУ) $k = 2,5\text{--}4,2$; комплексные гранулированные удобрения (КГУ) $k = 15\text{--}35$; жидкие гуминовые микроэлементные комплексные удобрения «ЭлеГум» $k = 70\text{--}200$ [39].

Впервые научно обоснованы основные показатели и методы контроля качества жидких ГП, которые изложены в окончательных редакциях, разработанных СТБ 2392-2014 «Препараты гуминовые жидкие. Общие технические требования и методы контроля» и СТБ 2391-2014 «Препараты гуминовые жидкие. Метод определения совместимости с карбамидно-аммиачной смесью». Госстандартом Республики Беларусь указанные СТБ введены в действие с 01 июля 2015 г.

В рамках разработки методов эколого-экономической оценки разных направлений использования выработанных торфяных месторождений за период с 2009 по 2014 г. по каждому административному району Беларуси разработаны отдельные мероприятия, содержащие общую оценку современного состояния всех выработанных торфяных месторождений и отдельных участков, оценку их влияния на окружающую среду, оценку эффективности их современного использования, предложения и мероприятия по наиболее рациональному использованию на перспективу, оценку ожидаемого экономического и экологического эффекта, с приложением картографических материалов.

Разработан, утвержден и введен в действие Технический кодекс установившейся практики 17.12-08-2015 (33140) «Охрана окружающей среды и природопользование. Территория. Определение направлений использования торфяных месторождений и болот» (постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 24.06.2015 г. № 2).

Разработаны:

- Методика эколого-экономической оценки экосистемных услуг торфяных месторождений при различных направлениях использования;
- Стратегия сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяных месторождений, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30.12.2015 г. № 1111 «О некоторых вопросах в области сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников»;
- «Схема распределения торфяников по направлениям использования Брестской, Витебской и Минской областей на период до 2030 года», утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30.12.2015 г. № 1111.

Доработаны областные Схемы распределения торфяных месторождений по направлениям использования Брестской, Витебской, Гродненской, Гомельской, Могилевской и Минской областей на период до 2030 года в формате, утвержденном Межведомственной рабочей группой по торфяникам.

Список использованных источников

1. Лиштван, И. И. Коллоидная химия и физико-химическая механика торфа: история развития и современные направления исследований / И. И. Лиштван // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2012. – Вып. 22. – С. 47–56.
2. Комплекс методов экспериментального исследования процессов тепломассопереноса и пучения в промерзающих грунтах и горных породах / Г. П. Бровка [и др.] // Материалы 5-й конф. геокриологов России. – М. : Университетская книга, 2016. – Т. 3, ч. 8–13. – С. 11–17.
3. Бровка, Г. П. Совершенствование аналитических и численных моделей расчета температурных полей в промерзающих грунтах / Г. П. Бровка, К. А. Агутин, М. В. Мучко // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации : материалы 13-й науч.-практ. конф. – М., 2017. – С. 313–319.
4. Особенности взаимодействия гуминовых соединений с металлами постоянной и переменной валентности в кислой среде / И. И. Лиштван [и др.] // ХТТ. – 2017. – № 5. – С. 33–45.
5. Регулированные сорбционные свойства каустобиолитов с ионами металлов / И. И. Лиштван [и др.] // ХТТ. – 2017. – № 5. – С. 39–45.
6. Лиштван, И. И. Перспективы глубокой переработки твердых горючих ископаемых Беларуси / И. И. Лиштван, В. М. Дударчик, В. М. Крайко // ХТТ. – 2017. – № 5. – С. 3–9.
7. Перспективы энерготехнологического использования биомассы в Беларуси / И. Лиштван [и др.] // ХТТ. – 2017. – № 5. – С. 15–23.
8. Курзо, Б. В. Совершенствование методологии разведки сапропелевых месторождений, технологий добывчи и переработки сапропелевого сырья для повышения эффективности его использования / Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, М. В. Кузмицкий // Новости науки и технологий. – Минск, 2010. – № 3 (16). – С. 16–26.
9. Методология формирования базы данных и разработки карты сапропелевых месторождений Беларуси / Б. В. Курзо [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2010. – Вып. 17. – С. 128–134.
10. Курзо, Б. В. Районирование территории Беларуси по вещественно-генетическим типам озерного осадконакопления / Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, И. В. Кляуззе // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2011. – Вып. 19. – С. 61–68.
11. Курзо, Б. В. Формирование сапропеля в озерах Беларуси / Б. В. Курзо, Ю. Ю. Навоша, В. П. Стригуцкий // ХТТ. – 2017. – № 5. – С. 65–75.
12. Гаврильчик, А. П. Трансформация свойств торфа при антропогенном воздействии / А. П. Гаврильчик, Т. Я. Кашинская ; под ред. И. И. Лиштвана. – Минск : Беларуская навука, 2013. – 305 с.
13. Кашинская, Т. Я. Использование торфа для получения препаратов различного назначения / Т. Я. Кашинская // ХТТ. – 2017. – № 6. – С. 47–52.
14. Оценка торфяного фонда Республики Беларусь в связи с актуальными задачами его использования на ближайшую перспективу / А. П. Гаврильчик [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2012. – Вып. 22. – С. 229–235.
15. Резервы торфяного фонда Республики Беларусь / А. П. Гаврильчик [и др.] // Новости науки и технологий. – 2012. – № 1 (20). – С. 3–12.
16. Лис, Л. С. Торфяные месторождения Республики Беларусь, пригодные для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективу / Л. С. Лис, В. Б. Кунцевич, Ю. Ю. Навоша. – Минск : Беларуская навука, 2013. – 115 с.
17. Krakoweckiy, A. V. Экономико-географическая оценка торфяных месторождений, пригодных для комплексного освоения и производства различной продукции / A. V. Krakoweckiy // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2016. – Вып. 30. – С. 96–105.
18. Лис, Л. С. Торфяной фонд Республики Беларусь / Л. С. Лис, Т. И. Макаренко, В. Б. Кунцевич // ХТТ. – 2017. – № 5. – С. 53–63.
19. Исследование состава и свойств торфа месторождения «Туршовка-Чертово» как сырья для его глубокой комплексной переработки / И. И. Лиштван [и др.] // ХТТ. – 2017. – № 5. – С. 24–33.
20. Лиштван, И. И. Нетопливное использование торфа: эффективность и перспективы / И. И. Лиштван // Энергоэффективность. – 2017. – № 4. – С. 22–28.
21. Мухин, В. М. Производство и применение углеродных адсорбентов / В. М. Мухин, В. Н. Клушин. – М., 2012. – 307 с.
22. Курзо, Б. В. Динамика сушки сапропеля в радиационно-конвективном режиме / Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, И. В. Кляуззе // Природопользование: сб. науч. тр. – Минск, 2011. – Вып. 20. – С. 95–99.
23. Новые композиционные материалы с фунгитоксичными свойствами на основе торфа / А. А. Хрипович [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2009. – Вып. 16. – С. 230–234.
24. Модифицирование углеродных материалов с целью придания им фунгицидных и бактерицидных свойств / С. С. Ставицкая [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2003. – Т. 76, вып. 1. – С. 46–49.
25. Наумова, Г. В. Торф в биотехнологии / Г. В. Наумова. – Минск : Наука техника, 1987. – 152 с.
26. Антиоксидантная активность отдельных компонентов торфа и растительных отходов / А. Э. Томсон [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2011. – Вып. 19. – С. 165–170.

27. Новые биологически активные кормовые добавки серии «Эколин» для корректирования обмена веществ у высокопродуктивных коров / Г. В. Наумова [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 24. – С. 129–133.
28. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларуская навука, 2009. – 328 с.
29. Эффективность использования нового консерванта плющеного зерна «Гумоплюс» / Г. В. Наумова [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр.– Минск, 2013. – Вып. 24. – С. 123–128.
30. 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. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 179–183.
31. Бамбалов, Н. Н. Влияние температуры экстракции гуминовых веществ на их выход из торфа / Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Решетник // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. хім. навук. – 2012. – № 4. – С. 116–120.
32. Бамбалов, Н. Н. Осаждение гуминовых веществ из водных и щелочных растворов под воздействием электролитов / Н. Н. Бамбалов // ХТТ. – 2016. – № 1. – С. 53–65.
33. Коврик, С. И. Медь-цинк микроэлементное гуминовое удобрение / С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 278–283.
34. Коврик, С. И. Получение жидкого концентрированного микроэлементного удобрения, содержащего гуминовые вещества, цинк и бор / С. И. Коврик, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2017. – Вып. 31.– С. 146–153.
35. Применение комплексных гуминовых микроудобрений «Элегум» : рекомендации / М. В. Рак, В. В Лапа, Г. А. Соколов / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2013. – 28 с.
36. Цвирко, Л. Ю. Динамика выхода водорастворимых и гуминовых веществ из торфа при гидродинамической кавитации / Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 182–186.
37. Цвирко, Л. Ю. Влияние гидродинамической кавитационной обработки сапропеля и торфа на изменение структуры и выход водорастворимых органических веществ / Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2017. – Вып. 31. – С. 136–141.
38. Смычник, Т. П. Влияние соединений железа на окислительную деструкцию торфа пероксидом водорода / Т. П. Смычник, Н. Н. Бамбалов // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2011. – Вып. 19. – С. 176–179.
39. Научные основы использования в сельском хозяйстве торфа, сапропеля и продуктов их переработки / Г. А. Соколов [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – 2012. – Вып. 22. – Минск, 2012. – С. 67–82.

References

1. Lishtvan I. I. *Kolloidnaya himiya i fiziko-himicheskaya mehanika torfa: istoriya razvitiya i sovremennoye napravleniya issledovaniy* [The Colloid Chemistry and Physicochemical Mechanics of Peat: the History of the Development and Modern Lines of Research]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus “Nature Management”*, Minsk, 2012, vol. 22, pp. 47–56.
2. Brovka G. P. [et al]. *Kompleks metodov eksperimentalnogo issledovaniya protsessov teplomassoperenosu i pucheniya v promerzayuschih gruntah i gorniyih porodah* [A Set of Methods for the Experimental Study of the Processes of Heat and Mass Transfer and Punching in Freezing Soils and Rocks]. *Mater. 5-oi konf. geokriologov Rossii* [Proc. of the 5th Conf. of the Geocryologists of Russia]. Moscow, University Book Publ., 2016, vol. 3, part 8–13, pp. 11–17.
3. Brovka G. P., Agutin K. A., Muchko M. V. *Sovershenstvovanie analiticheskikh i chislennykh modeley rascheta temperaturnyih poley v promerzayuschih gruntah* [The Perfection of the Analytical and Numerical Models for Calculating Temperature Fields in Freezing Soils]. *Mater. 13-oi nauchn.-prakt. konf. “Perspektivy razvitiya inzhenernyih izyiskaniy v stroitelstve v Rossiyskoy Federatsii”* [Proc. of the 13th Scientific and Practical Conf. “The Perspectives of the Development of Engineering Surveys in Construction in the Russian Federation”], Moscow, 2017, pp. 313–319.
4. Lishtvan I. I. [et al]. *Osnobennosti vzaimodeystviya guminovyih soedineniy s metallami postoyannoy i peremennoy valentnosti v kisloy srede* [The Features of the Interaction of Humic Compounds with the Metals of Constant and Variable Valence in an Acidic Medium]. *Himiya tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*, 2017, no. 5, pp. 33–45.
5. Lishtvan I. I. [et al.] *Regulirovannye sorbtionnyie svoystva kaustobiolitov s ionami metallov* [The Regulated Sorption Properties of Caustobioliths with Metal Ions]. *Himiya tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*, 2017, no. 5, pp. 39–45.
6. Lishtvan I. I., Dudarchik V. M., Kraiko V. M. *Perspektivy glubokoy pererabotki tverdyih goryuchih iskopаемых Belarusi* [The Perspectives of the Deep Processing of the Solid Fossil Fuels of Belarus]. *Himiya tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*, 2017, no. 5, pp. 3–9.
7. Lishtvan I. I. [et al]. *Perspektivy energotehnologicheskogo ispolzovaniya biomassyi v Belarusi* [The Perspectives of the Energy and Technological use of Biomass in Belarus]. *Himiya tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*, 2017, no. 5, pp. 15–23.

8. Kurzo B. V., Gaidukevich O. M., Kuzmitsky M. V. *Sovershenstvovanie metodologii razvedki sapropelevyih mestorozhdeniy, tehnologiy dobyichi i pererabotki sapropelevogo syirya dlya povyisheniya effektivnosti ego ispolzovaniya* [Improving the Methodology of the Exploration of Sapropel Deposits, the Technologies for Extraction and Processing of Sapropel Raw Materials to Increase the Efficiency of its Use]. *Novosti nauki i tehnologiy = Science and Technology News*. Minsk, 2010, no. 3 (16), pp. 16–26.
9. Kurzo B. V. Kurzo [et al.] *Metodologiya formirovaniya bazyi dannyih i razrabotki kartyi sapropelevyih mestorozhdeniy Belarusi* [The Methodology of Forming a Database and Developing the Map of the Sapropel Deposits of Belarus]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2010, vol. 17, pp. 128–134.
10. Kurzo B. V., Gaidukevich O. M., Klyauzze I. V. *Rayonirovanie territorii Belarusi po veschestvenno-geneticheskim tipam ozernogo osadkonakopleniya* [The Zoning of the Territory of Belarus on the Real-genetic Types of Lake Sedimentation]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2011, vol. 19, pp. 61–68.
11. Kurzo B. V., Navosha Yu. Yu., Strigutsky V. P. *Formirovanie sapropelya v ozerah Belarusi* [The Formation of Sapropel in the Lakes of Belarus]. *Himiya tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*, 2017, no. 5, pp. 65–75.
12. Gavrilchik A. P., Kashinskaya T. Y. *Transformatsiya svoystv torfa pri antropogennom vozdeystviu*, pod red. I. I. Lishtvana [The Transformation of Peat Properties Under Anthropogenic Influence, Ed. I. I. Lishtvan]. Minsk, Belarus, 2013, 305 p.
13. Kashinskaya T. Y. *Ispolzovanie torfa dlya polucheniya preparatov razlichnogo naznacheniya* [The Use of Peat for the Preparation of Drugs for Various Purposes]. *Himiya tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*, 2017, no. 6, pp. 47–52.
14. Gavrilchik A. P. [et al.]. *Otsenka torfyanogo fonda Respubliki Belarus v svyazi s aktualnymi zadachami ego ispolzovaniya na blizhayshuyu perspektivu* [The Evaluation of the Peat Fund of the Republic of Belarus in Connection with the Actual Tasks of Its Use for the Near Future]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2012, vol. 22, pp. 229–235.
15. Gavrilchik A. P. [et al.]. *Rezervyi torfyanogo fonda Respubliki Belarus* [The Reserves of the Peat Fund of the Republic of Belarus]. *Novosti sistemy i tekhnologii = Science and Technology News*, 2012, no. 1 (20), pp. 3–12.
16. Lis L. S., Kuntsevich V. B., Navosha Yu. Yu. *Torfyanie mestorozhdeniya Respubliki Belarus, prigodnye dlya kompleksnogo osvoeniya na blizhayshuyu i otdalennuyu perspektivu* [Peat deposits of the Republic of Belarus, suitable for comprehensive development for the near and distant future]. Minsk, Belarus, Science Publ., 2013, 115 p.
17. Krakovetsky A. V. *Ekonomiko-geograficheskaya otsenka torfyanikh mestorozhdeniy, prigodnyih dlya kompleksnogo osvoeniya i proizvodstva razlichnoy produktsii* [The Economical and Geographical Assessment of Peat Deposits Suitable for the Integrated Development and Production of Various Products]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2016, vol. 30, pp. 96–105.
18. Lis L. S., Makarenko T. I., Kuntsevich V. B. *Torfyanoy fond Respubliki Belarusi* [The Peat Fund of the Republic of Belarus]. *Himiya tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*, 2017, no. 5, pp. 53–63.
19. Lishtvan I. I. [et al.]. *Issledovanie sostava i svoystv torfa mestorozhdenija «Turshovka-Chertovo» kak syr'ja dlya ego glubokoj kompleksnoj pererabotki* [The Investigation of the Composition and Properties of Peat of "Turshovka-Chertovo" Deposit as Raw Material for its Deep Complex Processing]. *Himiya tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*, 2017, no. 5, pp. 24–33.
20. Lishtvan I. I. *Netoplivnoe ispolzovanie torfa: effektivnost i perspektivy* [Non-fuel Peat Use: Efficiency and Prospects]. *Energoeffektivnost = Energy Efficiency*, 2017, no. 4, pp. 22–28.
21. Mukhin V. M., Klushin V. N. *Proizvodstvo i primenenie uglerodnyih adsorbentov* [The Production and Application of Carbon Adsorbents]. Moscow, 2012, 307 p.
22. Kurzo B. V., Gaidukevich O. M., Klyauzze I. V. *Dinamika sushki sapropelya v radiatsionno-konvektivnom rezhime* [The Dynamics of Drying Sapropel in Radiation-Conductive]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2011, vol. 20, pp. 95–99.
23. Hripovich A. A. [et al.]. *Novye kompozitsionnye materialy s fungitoksichnymi svoystvami na osnove torfa* [New Composite Materials with Fungitoxic Properties Based on Peat]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2009, vol. 16, pp. 230–234.
24. Stavitskaya S. S. [et al.]. *Modifitsirovaniye uglerodnyih materialov s tselyu pridaniya im fungitsidnyih i bakteritsidnyih svoystv* [The Modification of Carbon Materials for the Purpose of Imparting Fungicidal and Bactericidal Properties to Them]. *Zhurnal prikladnoy himii = The Journal of Applied Chemistry*, 2003, vol. 76, issue 1, pp. 46–49.
25. Naumova G. V. *Torf v biotehnologii* [Peat in Biotechnology]. Minsk, The Science of Technology Publ., 1987, 152 p.
26. Thomson A. E. [et al.]. *Antioxidanaya aktivnost otdelnyih komponentov torfa i rastitelnyih othodov* [The Antioxidant Activity of the Individual Components of Peat and Plant Waste]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2011, vol. 19, pp. 165–170.

27. Naumova G. V. [et al.]. *Novye biologicheski aktivnye kormovye dobavki serii "Ekolin" dlya korrigirovaniya obmena veschestv u vysokoproduktivnyih korov* [New Biologically Active Feed Additives of the "Ecolin" Series for Correcting Metabolism in High Productive Cows]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2013, vol. 24, pp. 129–133.
28. Thomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and the Products of Its Processing]. Minsk, Belarusian Science Publ., 2009, 328 p.
29. Naumova G. V. [et al.]. *Effektivnost ispolzovaniya novogo konservanta plyuschenogo zerna «Gumoplus»* [The Efficiency of the Use of New Preservative of Padded Grain "Humoplus"]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2013, vol. 24, pp. 123–128.
30. Bambalov N. N., Smirnova V. V. *Soderzhanie legkogidrolizuemyih veschestv v guminovyih kislotah, videleniyih iz torfa pri razlichnyih usloviyah* [The Content of Easily Hydrolyzable 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, vol. 25, pp. 179–183.
31. Bambalov N. N., Smirnova V. V., Reshetnik A. S. *Vliyanie temperatury ekstraktsii guminovyih veschestv na ih vyihod iz torfa* [The Influence of the Temperature of the Extraction of Humic Substances on Their Output From Peat]. *Vesti Natsionanai Akademii Navuk Belarusi. Ser. him. navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemistry Series*, 2012, no. 4, pp. 116–120.
32. Bambalov N. N. *Osazhdennie guminovyih veschestv iz vodnyih i schelochnyih rastvorov pod vozdeystviem elektrolytov* [The Deposition of Humic Substances From Aqueous and Alkaline Solutions Under the Influence of Electrolytes]. *Himiya tverdogo toplya = Solid Fuel Chemistry*, 2016, no. 1, pp. 53–65.
33. Kovrik S. I., Bambalov N. N., Sokolov G. A. *Med-tsink mikroelementnoe guminovoe udobrenie* [Copper-zinc Microelement 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, vol. 21, pp. 278–283.
34. Kovrik S. I., Bambalov N. N., Sokolov G. A. *Poluchenie zhidkogo kontsentrirovannogo mikroelementnogo udobreniya, soderzhaschego gu-minovyie veschestva, tsink i bor* [The Preparation of Liquid Concentrated Microelement Fertilizer Containing Humic Substances, Zinc and Boron]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2017, vol. 31, pp. 146–153.
35. *Primenenie kompleksnyih guminovyih mikroudobreniy «Elegum»* [The use of "Elegum" Complex Humic Microfertilizers]. Rekomendatsii, pod redaktsiei M. V. Rak, V. V Lapa, G. A. Sokolov, Nats. akad. nauk Belarusi, Institut prirodopolzovaniya, Institut pochvovedeniya i agrohimii [Recommendations, ed. M. V. Rak, V. V Lapa, G. A. Sokolov, National Academy of Sciences of Belarus, Institute for Nature Management, Institute of Soil Science and Agrochemistry], Minsk, 2013, 28 p.
36. Tsvirko L. Y., Bambalov N. N., Sokolov G. A. *Dinamika vyihoda vodorastvorimyih i guminovyih veschestv iz torfa pri gidrodinamicheskoy kavitatsii* [The Dynamics of the Release of Water-Soluble and Humic Substances from Peat During Hydrodynamic Cavitation]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2013, vol. 23, pp. 182–186.
37. Tsvirko L. Y., Bambalov N. N., Sokolov G. A. *Vliyanie hidrodinamicheskoy kavitaцionnoy obrabotki sapropelya i torfa na izmenenie struktury i vyihod vodorastvorimyih organicheskikh veschestv* [The Effect of the Hydrodynamic Cavitation Treatment of Sapropel and Peat on the Structure Change and the Yield of Water-Soluble Organic Substances]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2017, vol. 31, pp. 136–141.
38. Smychnik T. P., Bambalov N. N. *Vliyanie soedinenij zheleza na okislitel'nuju destrukciju torfa peroksidom vodoroda* [The Influence of Iron Compounds on the Oxidative Destruction of Peat by Hydrogen Peroxide]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2011, vol. 19, pp. 176–179.
39. Sokolov G. A., Krasnoberskaya O. G., Simakina I. V., Gavrilchik N. S. *Nauchnye osnovy ispol'zovanija v sel'skom hozjajstve torfa, sapropela i produktov ih pererabotki* [Scientific Foundations for Agriculture Peat, Sapropel and Products of Their Processing Use]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2012, vol. 22, pp. 67–82.

Информация об авторах

Лиштван Иван Иванович – академик, д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Томсон Алексей Эммануилович – канд. хим. наук, доцент, зам. директора по науч. работе, зав. Центром по торфу и сапропелям, зав. лаб. экотехнологий, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: altom@ecology.basnet.by

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

Наумова Галина Васильевна – д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Бровка Геннадий Петрович – д-р техн. наук, зав. лаб. физико-химической механики природных дисперсных систем, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: brovka_gp@rambler.ru

Курзо Борис Валентинович – д-р техн. наук, зав. лаб. использования и охраны торфяных и сапропелевых месторождений, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kurs@ecology.basnet.by

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

Information about the authors

Ivan I. Lishtvan – 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, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Aleksey E. Tomson – Ph.D (Chemistry), Assistant Professor, Deputy Director, Head of the Center of Peat and Sapropel, Head of Lab. of Ecotechnology, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: altom@ecology.basnet.by

Nikolai N. Bambalov – Academician, D.Cs. (Agricultural), 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: humico@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, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Gennadiy P. Brovka – D.Sc. (Technical), Head of Lab. of Physical-Chemical Mechanics of Natural Disperse Systems, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: brovka_gp@rambler.ru

Boris V. Kurzo – D.Sc. (Technical), 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

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, Republic of Belarus). E-mail: mire4@tut.by

ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛАРУСИ

**В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик, М. И. Струк, Л. А. Кравчук,
О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, С. В. Савченко, С. В. Саливончик, Е. П. Овчарова,
В. А. Рыжиков, А. В. Мальчишина, М. И. Козыренко, О. Ю. Круковская, Ю. Г. Кокош**

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведен обзор основных результатов эколого-географических исследований урбанизированных территорий Беларуси, выполненных в рамках направлений, развиваемых Центром экологии городов и трансграничного загрязнения Института природопользования НАН Беларуси в последнее пятилетие. Показаны методические подходы и результаты эколого-географических исследований городов и пригородных территорий, включающие выявление источников загрязнения, пространственно распределенные оценки поступления загрязняющих веществ в атмосферу, интегральное моделирование выбросов и воздействий, геохимическую трансформацию почв и поверхностных вод, особенности структуры и функционирования ландшафтно-рекреационных территорий.

Ключевые слова: город; пригородная зона; воздействие; загрязнение; атмосферный воздух; почвы; поверхностные воды; ландшафтно-рекреационные территории; картографирование; интегральное моделирование; прогноз.

Для цитирования. Хомич В. С., Какарека С. В., Кухарчик Т. И., Струк М. И., Кравчук Л. А., Кадацкая О. В., Санец Е. В., Савченко С. В., Саливончик С. В., Овчарова Е. П., Рыжиков В. А., Мальчишина А. В., Козыренко М. И., Круковская О. Ю., Кокош Ю. Г. Эколого-географические исследования урбанизированных территорий Беларуси // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 26–45.

ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL STUDIES OF THE URBANIZED TERRITORIES OF BELARUS

**V. S. Khomich, S. V. Kakareka, T. I. Kukharchyk, M. I. Struk, L. A. Kravchuk,
O. V. Kadatskaya, E. V. Sanets, S. V. Savchenko, S. V. Salivonchyk, A. P. Aucharova,
V. A. Ryzhikov, H. V. Malchykhina, M. I. Kazyrenka, O. Y. Krukowskaya, Y. G. Kokosh**

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

Abstract. The overview of the main results of ecological and geographical studies of the urbanized territories of Belarus obtained by the Center for Urban Ecology and Transboundary Pollution of the Institute for Nature Management of the NAS of Belarus for the recent five years is shown. The methodical approaches and the results of the ecological and geographical studies of cities and suburb territories including the determination of pollution sources, the spatially distributed of pollutants emission into the atmosphere, the integral modeling of emissions and impacts, geochemical soil and surface water transformation, the peculiarities of landscape and recreational structure and functioning are shown.

Key words: city; suburb area; impact; pollution; atmospheric air; soils; surface waters; landscape and recreational territories; mapping; integral modeling; forecast.

For citation. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchyk T. I., Struk M. I., Kravchuk L. A., Kadatskaya O. V., Sanets E. V., Savchenko S. V., Salivonchyk S. V., Aucharova A. P., Ryzhikov V. A., Malchykhina H. V., Kazyrenka M. I., Krukowskaya O. Y., Kokosh Y. G. Ecological and geographical studies of the urbanized territories of Belarus. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 26–45.

В Центре экологии городов и трансграничного загрязнения Института природопользования НАН Беларуси, объединяющем лаборатории оптимизации геосистем и трансграничного загрязнения, накоплен определенный опыт эколого-географических исследований урбанизированных территорий, отраженный в ряде монографий и научных статей [1–7]. Краткие обзоры методических подходов и результатов эколого-географических исследований городов и урбанизированных территорий, полученных авторами в 1990–2000-е годы, изложены в работах [8, 9]. Материалы, анализируемые в настоящей статье, подготовлены по результатам исследований, полученных в последнее пятилетие при выполнении Государственных программ научных исследований «Природно-ресурсный потенциал» и «Природопользование и экология», Государственных научно-технических программ «Природные ресурсы и окружающая среда» и «Природопользование и экологические риски», при выполнении НИР, связанных с изучением городской среды и решением разнообразных экологических проблем.

Эколого-географические исследования велись по следующим основным направлениям: выявление источников и пространственно-распределенные оценки поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух на территории Беларуси; исследования уровней и оценка динамики загрязнения атмосферного воздуха; интегральное моделирование выбросов и воздействий (прогнозы выбросов загрязняющих веществ и затрат на снижение выбросов; моделирование переноса и рассеяния загрязняющих веществ); исследования поверхностных вод; почвенно-геохимические исследования; исследования природных комплексов городов; исследования ландшафтно-рекреационных территорий; исследования техногенно-нарушенных территорий для целей реабилитации; исследования пригородной зоны.

Выявление источников и пространственно-распределенные оценки поступления загрязняющих веществ в атмосферный воздух на территории Беларуси. Выявление источников выбросов загрязняющих веществ, получение пространственно-распределенных оценок их поступления в атмосферный воздух на территории Беларуси являются одним из приоритетных направлений геоэкологических исследований в Институте. Работы, начатые около 20 лет назад, не утратили актуальности в связи с необходимостью совершенствования научно-методической базы учета выбросов, в том числе удельных показателей выбросов, повышением требований международных конвенций к точности оценок и детальности распределения выбросов с учетом категорий источников.

За прошедшее время выполненные исследования позволили существенно уточнить и дополнить оценки выбросов, в особенности по таким веществам, как стойкие органические загрязнители (диоксины/фураны, полихлорированные бифенилы, гексахлорбензол), тонкодисперсные твердые взвешенные частицы (ВЧ10, ВЧ2,5), аммиак и формальдегид [10–13]. Это позволило обеспечить выполнение обязательств Республики Беларусь по отчетности в Программу ЕМЕП, а также создать информационную базу управления воздействиями.

Разработаны процедуры и алгоритмы получения карт выбросов аммиака, оксидов азота, формальдегида и других веществ с различным разрешением (50×50 км, 10×10 км и по административным районам) как валовых, так и по категориям источников [11–13]. Приведенная на рис. 1 карта валовых выбросов аммиака свидетельствует о достаточно высокой контрастности пространственной структуры поступления данного вещества в атмосферный воздух на территории Беларуси. Установлено, что на долю ячеек с плотностью выбросов более $1 \text{ t}/\text{km}^2$ приходится менее 2 % территории страны. Вместе с тем они обеспечивают около 50 % валовых выбросов аммиака.

Наиболее однородно по территории страны распределены выбросы от внесения минеральных удобрений, в то время как максимальной неоднородностью характеризуются выбросы от свиноводства и птицеводства, что объясняется большой концентрацией поголовья на относительно небольших территориях [14].

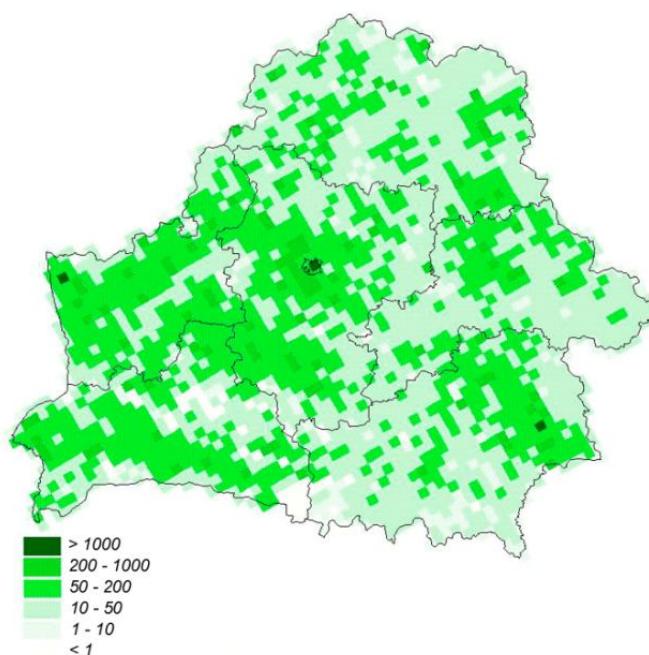


Рис. 1. Валовые выбросы аммиака на территории Беларуси, распределенные по сетке 10×10 км, $\text{t}/\text{год}$ в 2015 г. (авторы: С. В. Какарека и А. В. Мальчикина)

Fig. 1. Total ammonia emissions on the territory of Belarus, distributed on 10×10 km network, t/year in 2015 (authors: S. V. Kakareka and H. V. Malchykhina)

Выполненные исследования позволили также оценить площадь территории с плотностью валовых выбросов оксидов азота более 1 т/км² (17,5 тыс. км²) и выявить районы с наибольшей (более 100 кг/человека) нагрузкой на население (Чашникский, Минский и Кричевский районы) [12]. Установлено, что суммарные ежегодные выбросы оксидов азота варьируют в диапазоне от 0,132 до 10,9 тыс. т/район, в г. Минске выбросы составляют 17,4 тыс. т.

Пространственно-распределенные оценки выбросов востребованы при проведении моделирования переноса и рассеяния загрязняющих веществ на общеевропейском уровне в рамках Программы ЕМЕП, а также на национальном уровне. В настоящее время ведутся работы по подготовке алгоритмов и процедур для картирования выбросов загрязняющих веществ с более высоким разрешением (по сетке 1 × 1 км и 500 × 500 м), что позволит получить более точную картину о распределении выбросов.

Исследования уровней и оценка динамики загрязнения атмосферного воздуха. Одно из направлений исследований – выявление трендов загрязнения атмосферного воздуха в городах Беларуси, а также изучение особенностей распределения загрязняющих веществ в зонах локальных источников воздействия. Проанализированы тренды содержания диоксида серы, диоксида азота, формальдегида, твердых взвешенных частиц в атмосферном воздухе, соединений серы и азота в атмосферных осадках.

Показано, что за период 1991–2012 гг. уровни среднего содержания диоксида серы в атмосферном воздухе городов и фоновых территорий существенно снизились, при этом основное их сокращение приходится на период 1990–2001 гг.; асимметрия сокращения более характерна для фоновых территорий. Тренды содержания диоксида серы в атмосферном воздухе Беларуси коррелируют с трендами в воздухе стран Европы. Уменьшение содержания окисленной серы в атмосферном воздухе привело к существенному сокращению ее вклада в потенциал закисления природной среды [15].

На основании обобщения результатов НСМОС выявлен нисходящий тренд содержания аммиака в атмосферном воздухе городов Беларуси, составивший за период с 1991 по 2012 г. 2,1 % в год, что не характерно для городов других стран Европы. Проанализированы результаты исследования содержания аммиака в зонах воздействия животноводческих комплексов; установлено, что в зонах воздействия всех объектов наблюдаются более высокие содержания аммиака по сравнению с фоновыми территориями в 1,5–9,5 раза [16].

С использованием корреляционного анализа и теста Манна–Кендалла (программы MAKESENS) выявлены особенности многолетней динамики содержания формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси за 22-летний период. В зависимости от характера изменений среднегодового содержания формальдегида в атмосферном воздухе города Беларуси были разделены на три группы: с преимущественно восходящим трендом изменений (Брест, Минск, Орша, Пинск); с преимущественно нисходящим (Полоцк, Новополоцк, Бобруйск, Мозырь, Речица, Гродно); не имеющие выраженного тренда (Гомель, Светлогорск, Могилев, Витебск, Новогрудок). Выявлены сходные тренды изменений концентрации формальдегида в близкорасположенных городах (Гомель–Речица–Светлогорск, Полоцк–Новополоцк, Брест–Пинск) [1].

Выявлены статистически достоверные тенденции к увеличению средних концентраций формальдегида в атмосферном воздухе городов в летние месяцы ($R^2 = 0,55$) и снижению ($R^2 = 0,65$) – в зимние месяцы (рис. 2). Также выявлен рост значений отношения средних концентраций формальдегида в летние месяцы к зимним ($R^2 = 0,69$).

Проведены экспериментальные исследования содержания формальдегида в атмосферном воздухе на фоновых территориях (вдхр Вяча, гора Лысая), на урбанизированных территориях (г. Минск, г. Борисов) и зонах воздействия источников выбросов. Отбор проб в Минске проводился в центральной и восточной частях города в 14 точках, которые приурочены к ландшафтно-рекреационной (городской фон), жилой и административной, промышленной и транспортной зонам, а также на фоновых участках за пределами города.

Среднее содержание формальдегида в атмосферном воздухе на фоновых природных территориях (вдхр Вяча, гора Лысая) за период 2008–2015 гг. составило 3,3 мкг/м³, что согласуется с данными для фоновых территорий стран Европы.

Установлены закономерности распределения концентраций формальдегида в атмосферном воздухе городов (на примере г. Минска), проявляющиеся в превышении его среднегодового содержания в 1,7 раза в промышленной, в 1,5 раза – в транспортной и в 1,1 раза – в жилой и административной зонах по сравнению с ландшафтно-рекреационной зоной. Среднее содержание формальдегида в воздухе ландшафтно-рекреационной зоны города (городской фон) в 2,0 раза выше, чем на природных фоновых территориях (табл. 1) [10, 13].

Установлено, что из метеопараметров, измеряемых в процессе проведения экспериментальных исследований (скорость и направление ветра, температура воздуха, относительная влажность и атмосферное давление), на концентрацию формальдегида в атмосферном воздухе в наибольшей степени влияют скорость ветра и температура воздуха [13].

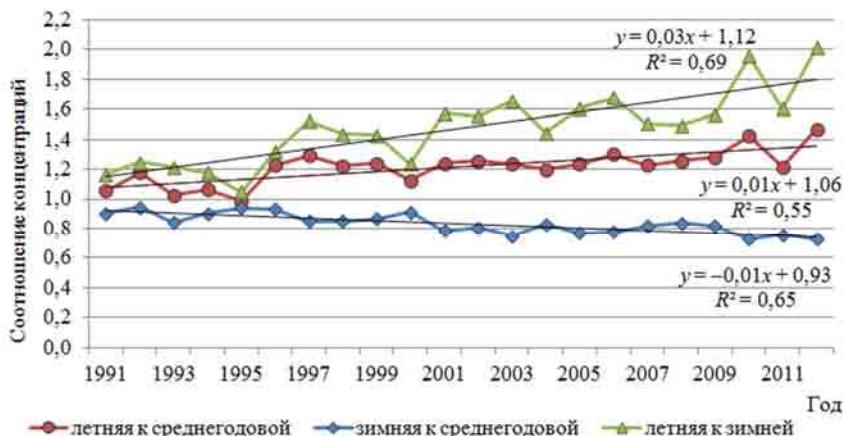


Рис. 2. Многолетняя динамика соотношений средних концентраций формальдегида в атмосферном воздухе городов Беларуси за различные периоды года

Fig. 2. Long-term dynamics of the ratios of average formaldehyde concentrations in the atmospheric air of Belarusian cities for different seasons

Таблица 1. Содержание формальдегида в атмосферном воздухе функциональных зон г. Минска и на фоновых территориях в 2008–2015 гг., мкг/м³

Table 1. Formaldehyde content in the atmosphere air of the function zones of Minsk city and on background territories in 2008–2015, mkg/m³

Место отбора проб воздуха	Количество проб	Диапазон концентраций	Средняя концентрация
Природный фон	90	Н.о.–12,8	3,3±0,8
Ландшафтно-рекреационная зона (городской фон)	535	Н.о.–27,3	6,4±1,6
Жилая и административная зона	34	1,7–16,0	6,7±1,7
Транспортная зона	275	Н.о.–29,2	9,6±2,4
Промышленная зона	109	1,7–32,8	11,0±2,8

П р и м е ч а н и е: Н. о. – ниже предела обнаружения.

Экспериментальные исследования содержания диоксида азота в атмосферном воздухе урбанизированных территорий (на примере г. Минска) показали, что средняя концентрация в транспортной и промышленной зонах города в 2,1 и 2,4 раза выше по сравнению с ландшафтно-рекреационной зоной города [12]. В то же время содержание диоксида азота в ландшафтно-рекреационной зоне города превосходит значения природного фона в 2,0 раза.

Установлена статистически достоверная зависимость содержания диоксида азота в воздухе придорожных зон от интенсивности движения автомобильного транспорта и асимметричное его распределение с повышенными на 20–50 % концентрациями с наветренной стороны улицы по сравнению с подветренной (рис. 3). Показано, что формирование специфических условий рассеяния в пределах «уличных каньонов» обусловлено плотной высотной застройкой и метеорологическими параметрами [16].

Интегральное моделирование выбросов и воздействий. Прогнозы выбросов загрязняющих веществ и затрат на снижение выбросов. В последние годы получило развитие новое для Беларуси направление – интегральное моделирование источников выбросов загрязняющих веществ, включающее прогноз выбросов, оценку затрат на снижение и выгод, оценку воздействия на здоровье и экосистемы. С помощью модели GAINS выполнено интегральное моделирование выбросов оксидов азота, аммиака, твердых частиц и других веществ до 2030 г. для различных сценариев социально-экономического развития страны [12, 14]. Разработанный прогноз выбросов базируется на государственных и отраслевых программах социально-экономического развития Республики Беларусь на долгосрочную, среднесрочную и краткосрочную перспективу.

Полученные прогнозные оценки выбросов показали, что к 2030 г. объем поступления ВЧ10 будет снижаться при любом сценарии социально-экономического развития страны. Наибольшее сокращение выбросов ВЧ10 ожидается от процессов сжигания топлива. При условии развития ситуации по сценарию максимального технически допустимого сокращения выбросы ВЧ10 могли бы снизиться до значения 31,2 тыс. т, или на 62 % от уровня 2014 г.

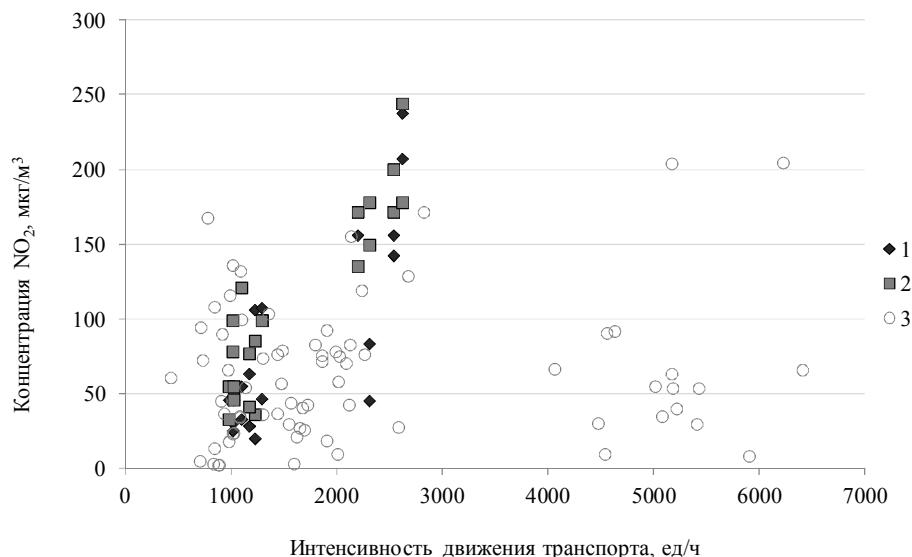


Рис. 3. Зависимость концентрации диоксида азота в атмосферном воздухе от интенсивности движения транспорта: 1 – с подветренной стороны «уличного каньона»; 2 – с наветренной стороны «уличного каньона»; 3 – вне «уличных каньонов»

**Fig. 3. Dependence of nitrogen dioxide concentration in the atmospheric air on traffic intensity:
1 – from the leeward side of the "street canyon"; 2 – from the windward side of the "street canyon";
3 – beyond the "street canyon"**

Выбросы аммиака, согласно полученным данным, к 2030 г. увеличатся при реализации оптимистического сценария и составят 182,8 тыс. т в год; при развитии базового сценария останутся на уровне 2014 г.; при внедрении максимально технически достижимого выбросы аммиака снизятся незначительно. Увеличение выбросов аммиака при реализации оптимистического сценария обусловлено увеличением поголовья животных (в основном крупного рогатого скота), а также объема производства удобрений.

Выполнен расчет прогнозных показателей экологического ущерба в связи с выбросами оксидов азота с использованием интегральной оценки. Выраженный в натуральных величинах годовой ущерб от преждевременной смертности от воздействия только оксидов азота составит 0,16 чел/тыс. т, от сокращения продолжительности жизни – 78,7 лет/тыс. т. Согласно оценкам, выбросы 170 тыс. т оксидов азота в год приводят к смерти 27 человек, общее для населения Беларуси сокращение продолжительности жизни, связанное с выбросами оксидов азота составит 13 тыс. лет [17].

Моделирование переноса и рассеяния загрязняющих веществ. Получило развитие такое направление, как моделирование переноса и рассеяния загрязняющих веществ, которое в настоящее время в Евросоюзе признано на законодательном уровне в качестве инструмента мониторинга атмосферного воздуха (Директива 2008/50/ЕС «О качестве атмосферного воздуха и мерах его очистки»). С учетом международного опыта использованы гауссовые модели, эффективные на локальном уровне и в масштабе города при рассмотрении непрерывных, плавучих шлейфов загрязнения от стационарных источников [18].

В частности, апробирована гауссова модель переноса и рассеяния AERMOD для оценки загрязнения атмосферного воздуха в зоне воздействия локальных источников выбросов: предприятий деревообработки (ОАО «Ивацевичдрев», ОАО «Борисовдрев», ОАО «Молодечномебель»), производства смол (ОАО «Лесохимик») и др. Моделирование рассеяния сочетается с подфакельными измерениями содержания загрязняющих веществ в воздухе для верификации результатов моделирования [10, 11]. Сопоставление расчетных данных с результатами экспериментальных измерений показали высокую сходимость результатов в случае, когда измерение проводилось по направлению шлейфа и погодные условия были детально описаны в метеорологическом файле. Показано, что на основе сравнения можно выявить неучтенные источники загрязняющих веществ.

По результатам моделирования выполнено ранжирование промышленных площадок предприятий по производству древесных слоистых материалов с учетом максимальных расчетных приземных концентраций формальдегида в атмосферном воздухе и количества населения, подвергающегося воздействию, их местоположения и метеоклиматических особенностей территории [19]. Предложены мероприятия по снижению воздействия формальдегида на воздушную среду, включающие общие мероприятия для сектора в целом и адресные по промышленным площадкам предприятий.

Опыт моделирования был использован, в частности при подготовке ОВОС при строительстве и функционировании Белорусской антарктической станции на горе Вечерняя [20]. Выполнены расчеты и подготовлена серия карт прогнозных концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе при различных режимах ее работы (рис. 4). Максимальный прирост среднечасовых концентраций диоксида азота в районе лабораторно-жилых модулей составит $67\text{--}77 \text{ мкг}/\text{м}^3$, что в 2,5–3,0 раза ниже установленных ПДК; в районе охраняемого участка максимальная среднемесячная концентрация диоксида серы составляет $0,7 \text{ мкг}/\text{м}^3$, что в 14,0–15,0 раз ниже предельных значений ВОЗ для лишайников [18, 20, 21].

Показано, что уровни загрязнения при самых неблагоприятных условиях не превышают пороговых значений для чувствительных экосистем Антарктики. Проведенное моделирование позволило существенно повысить научную составляющую обоснования строительства станции. XXXVIII Консультативное совещание по Договору об Антарктике в 2016 г. одобрило Окончательную Всестороннюю оценку воздействия на окружающую среду, тем самым дав разрешение на начало строительства станции.

Гидрографическая сеть урбанизированных территорий: состояние, особенности функционирования, реабилитация. Водные объекты относятся к важнейшим элементам городской среды, которые не только играют ключевую роль в водно-ресурсном обеспечении городов, но и определяют их эстетическую привлекательность, а состояние водных объектов является одним из показателей экологического благополучия города.

Вместе с тем в процессе водопользования крупные и средние реки, дренирующие урбанизированные территории, являются как начальным (поверхностный водозабор), так и завершающим этапом использования воды (отведение сточных вод в поверхностные водные объекты). Причем очистные сооружения городов все еще остаются постоянными источниками «химического» пресса на водные объекты, обусловленного отведением в реки нормативно-очищенных сточных вод. При этом уровень давления на речные воды отражает показатель «загрязненные сточные воды», который характеризуется объемом сточных вод, содержащим загрязняющие вещества после очистки.

Формирование неблагоприятных гидроэкологических ситуаций в значительной степени определяется структурой водоотведения в городах. Постоянный рост численности городских жителей сопровождается увеличением доли коммунально-бытовых сточных вод в общем объеме водоотведения, в составе которых в реки сбрасывается основное количество органических веществ (по БПК5), азота аммонийного, азота нитритного, фосфатов и других химических веществ. Наряду со сточными водами фактором риска для водных объектов выступает вынос загрязняющих веществ (в основном хлоридов) с поверхностным стоком с территории городов. Таким образом, в пределах урбанизированных участков водосборов формируются техногенные гидрохимические потоки, определяющие состояние водных объектов в городах и в зонах их влияния [22, 23].

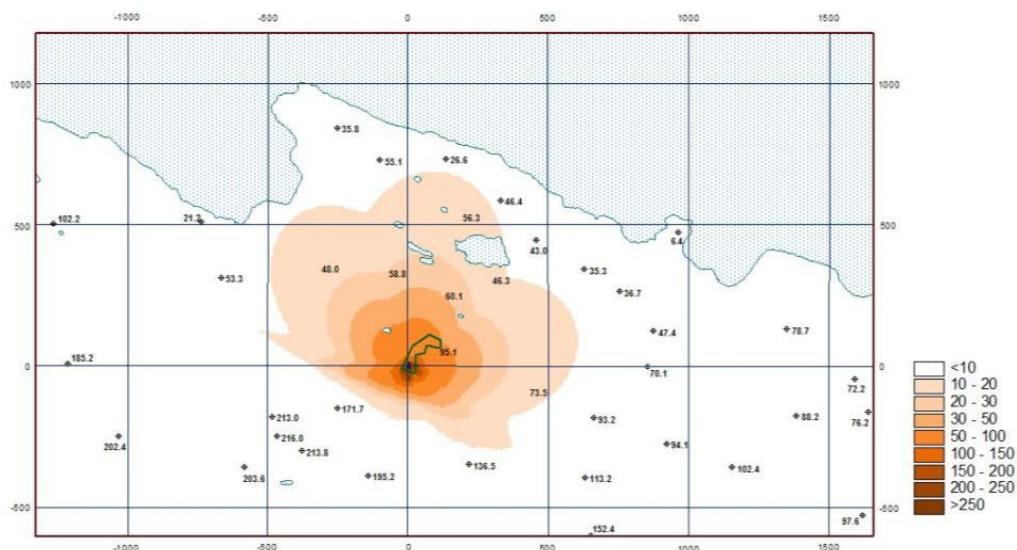


Рис. 4. Прогноз распределения максимальных часовых концентраций диоксида азота ($\text{мкг}/\text{м}^3$) в районе Белорусской антарктической станции по данным расчета на модели AERMOD (авторы: С. В. Какарека и С. В. Саливончик)

Fig. 4. Forecast of maximum hourly nitrogen dioxide concentration (mcg/m^3) in the area of Belarusian Antarctic station by the data of AERMOD (authors: S. V. Kakareka and S. V. Salivonchyk)

«Химический» пресс на реки в городах нередко приводит к превышению их ассимиляционного потенциала, емкость которого определяется способностью водотока к естественному самоочищению. В качестве первичных индикаторов оценки ассимиляционного потенциала выбрано содержание в воде рек биогенных веществ и хлоридов как основных компонентов, поступающих в водные объекты в составе техногенных потоков [24].

В ходе проведения гидрохимических исследований в городах Минске, Смолевичах, Жодино и Борисове, а также в зонах их влияния установлено, что содержание загрязняющих веществ в воде рек и водоемов нередко превышает их ассимиляционный потенциал. Так, в Минске в наибольшей степени трансформировано состояние вдхр Лошица, высокая степень трансформации характерна для рек Лошицы и Мышки, а также участка р. Свисочи в пределах города и ниже выпуска сточных вод Минской станции аэрации [25]. Аналогичная ситуация выявлена для целого ряда водных объектов городов Смолевичи, Жодино и Борисова (рис. 5). Наиболее трансформировано гидрохимическое состояние мелиоративного канала, расположенного в частном секторе г. Смолевичи, в который поступает поверхностный сток с частных подворий, а также мелиоративного канала Плисский, являющегося приемником сточных вод г. Жодино.

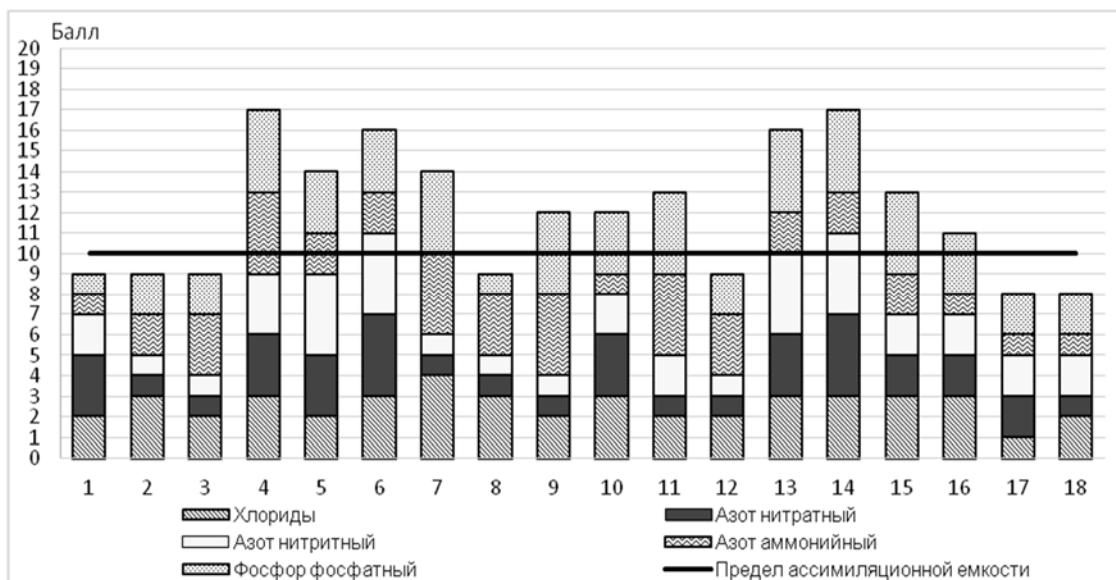


Рис. 5. Оценка степени гидрохимической трансформации водных объектов в городах Смолевичи, Жодино, Борисове и в зонах их влияния (2015 г.):

- 1 – р. Плисса (выше г. Смолевичи); 2 – вдхр Смолевичское (г. Смолевичи); 3 – вдхр Великое (г. Смолевичи); 4 – мелиоративный канал (ул. Партизанская, 10, г. Смолевичи); 5 – р. Плисса (ниже города, г. Смолевичи); 6 – р. Черница (0,1 км выше сброса ОС); 7 – р. Черница (0,5 км ниже сброса ОС); 8 – р. Черница (до впадения в р. Плиссе); 9 – р. Плисса (д. Яловица); 10 – р. Жодинка (до впадения в р. Плиссе, г. Жодино); 11 – вдхр Жодинское (мкр-н Дымковка, г. Жодино); 12 – вдхр Жодинское (напротив ТЭЦ, нижний бьеф, г. Жодино); 13 – р. Плисса (д. Пересады, ниже г. Жодино); 14 – мелиоративный канал Плисский; 15 – р. Плисса (ниже мкр-на Печи, г. Борисов); 16 – р. Плисса (1 км до впадения в р. Березину); 17 – р. Березина (выше впадения р. Плиссы, мкр-н Юшкевичи); 18 – р. Березина (ниже впадения р. Плиссы, около моста по М1)

Fig. 5. Estimation of the degree of hydrochemical transformation of water objects in Smolevichy, Zhodino and Borisov cities and in the zones of their impact (2015):

- 1 – Plissa r. (upstream of Smolevichy city); 2 – Smolevichskoe reservoir (Smolevichy city); 3 – Velikoe reservoir (Smolevichy city); 4 – meliorative cannel (Partizanskaya str., 10, Smolevichy city); 5 – Plissa r. (downstream of Smolevichy city); 6 – Chernitsa r. (0,1 km upstream of wastewater discharge); 7 – Chernitsa r. (0,5 km downstream of wastewater discharge); 8 – Chernitsa r. (before the confluence into the Plissa r.); 9 – Plissa r. (Yalovitsa v.); 10 – Zhodinka r. (before the confluence into the Plissa r., Zhodino city); 11 – Zhodinskoe reservoir (Dymkovka district, Zhodino city); 12 – Zhodinskoe reservoir (opposite of the power station, lower reach, Zhodino city); 13 – Plissa r. (Peresady v., downstream of Zhodino city); 14 – Plisskiy meliorative cannel; 15 – Plissa r. (downstream of Pechi district, Borisov city); 16 – Plissa r. (1 km before the confluence into the Berezina r.); 17 – Berezina r. (downstream of the confluence of the Plissa r., Ushkevichi district); 18 – Berezina r. (downstream of the confluence of the Plissa r., near the bridge on M1)

Для улучшения состояния изученных водных объектов необходимо проведение специальных мероприятий по уменьшению поступления загрязняющих веществ, а также реабилитационных мероприятий.

Изучение гидрохимической подсистемы водных экосистем сопровождалось оценкой воздействия тяжелых металлов и полихлорических ароматических углеводородов на загрязнение донных отложений р. Свислочи, выполненной в рамках международного белорусско-индийского проекта Х15ИНД-015 при финансовой поддержке ГКНТ и БРФФИ.

Анализ подходов к оценке уровня загрязнения донных отложений с использованием различных коэффициентов (обогащения (концентрации), загрязнения, среднего накопления, индекса суммарного загрязнения и геоаккумуляционного индекса) показал правомерность их использования, поскольку не выявил существенных различий в оценке загрязнения донных отложений р. Свислочи [26].

Все полученные коэффициенты свидетельствуют об антропогенной нагрузке на р. Свислочь за счет поверхностного стока и нормативно очищенных сточных вод. Полученные значения коэффициента обогащения указывают, что р. Свислочь испытывает значительную нагрузку по цинку, меди и хрому ниже пункта Дрозды, а на наиболее урбанизированном участке реки (г. Минск) – дополнительно по свинцу, кадмию, кобальту и никелю. Максимальные значения коэффициента обогащения для свинца, цинка и меди получены для донных отложений ниже выпуска дождевого коллектора «Центр». Указанные тяжелые металлы являются типичными загрязнителями поверхностного стока, поступающего с городской территории в целом и с транспортной зоны в частности.

Выполненные исследования рек и водоемов явились необходимым элементом разработки методических подходов для оценки эколого-рекреационной значимости водных объектов как элементов природного каркаса, основанной на трех основных группах критериев: уровне рекреационной значимости (высокий, средний, низкий), состоянии водного объекта (ассимиляционный потенциал превышен/не превышен), классе природно-экологических функций (1-й или 2-й) [27].

В зависимости от комбинации полученных критериев выделены водные объекты или их участки: устойчиво функционирующие в условиях города; нуждающиеся в проведении «технических» мероприятий по созданию инфраструктуры для рекреации или по снижению поступления загрязняющих веществ с водосбора; нуждающиеся в полной реабилитации для повышения их эколого-рекреационной значимости.

С использованием предложенных подходов проведена оценка рекреационной значимости 29 участков водных объектов г. Минска, ранжированных по трем группам – с низкой, средней и высокой рекреационной значимостью.

В группу с низкой рекреационной значимостью вошли отдельные обводненные участки русел рек Лошицы и Мышки, которые в настоящее время находятся в неудовлетворительном состоянии. Вместе с тем при проведении работ по реабилитации они могут стать полноценными элементами ландшафтно-рекреационных территорий и природного каркаса города. В группу водных объектов со средней рекреационной значимостью вошли участки рек Свислочи, Лошицы и Мышки с неблагоустроенными заболоченными или заросшими растительностью берегами. Группу водных объектов с высокой рекреационной значимостью составили участки рек Свислочи и Лошицы и расположенные на них водохранилища, а также Слепянская водная система с Цнянским водохранилищем.

Следует подчеркнуть, что большинство водных объектов г. Минска имеют высокий природно-экологический потенциал и ценные как элементы природного каркаса города.

Почвенно-геохимические исследования. Почвенно-геохимические исследования в последние годы развивались преимущественно в следующих направлениях: изучение источников загрязнения и трансформации почвенного покрова вследствие техногенного воздействия, особенностей накопления и перераспределения загрязняющих веществ (тяжелых металлов, полихлорированных бифенилов, нефтепродуктов) в почвах в зонах локальных источников воздействия. Начаты работы по совершенствованию научно-методических подходов к выявлению и оценке загрязнения почв промышленных предприятий в связи с возможным изменением целевого назначения территории.

Наиболее детальные исследования источников загрязнения и особенностей трансформации почв проведены в зоне воздействия лакокрасочного производства (на примере г. Лиды). Выявлены источники и пути поступления загрязняющих веществ, обеспечивающие более 90 % техногенной нагрузки на почвы, в числе которых основными являются сырье, готовая лакокрасочная продукция и отходы производства [28]. По результатам исследований в зоне воздействия лакокрасочного производства определены два типа аномалий: первичная, наиболее интенсивная и контрастная – в пределах промплощадки (с наибольшими уровнями загрязнения свинцом, цинком, хромом, кадмием и ПХБ), вторичная, среднеконтрастная – приуроченная к соподчиненным ландшафтам (по направлению поверхности стока с территории предприятия). Локальные педогеохимические аномалии обнаружены в местах использования лакокрасочных материалов. В рамках аномалий 1-го и 2-го типов выявлено формирование внутрипочвенных аномалий, обусловленных в том числе значительной техногенной

трансформацией почвенного профиля (нарушенностью горизонтов, их насыпным характером, подщелачиванием и т. д.) [28, 29].

В ходе изучения почв г. Лиды в местах использования лакокрасочных материалов (приусадебная застройка в частном секторе) установлены высокие уровни их загрязнения тяжелыми металлами, а также выявлены более интенсивные геохимические аномалии у окрашенных поверхностей, где содержание свинца, хрома и меди достигало нескольких сотен мг/кг, цинка – более 1000 мг/кг. О возможном источнике поступления тяжелых металлов – красках, свидетельствуют результаты изучения составов лакокрасочной продукции [30], а также статистически значимая линейная связь между содержанием в почве свинца и хрома [29]. Полученные выводы подтверждаются результатами исследований почв в районах индивидуальной застройки в городах Гомеле, Речице, Светлогорске.

Для территорий подстанций электросетей выявлены особенности формирования техногенных горизонтов в исходных дерново-подзолистых почвах как следствие утечек полихлорированных бифенилов (ПХБ) и неоднократной подсыпки грунтов. Получены данные, подтверждающие подкисление среды в местах утечек ПХБ и увеличение содержания компонентов солевого состава, а также трансформацию ионного состава водной вытяжки почв за счет преобладания ионов хлора, что может быть следствием деградации ПХБ. Установлено, что во многих случаях механический перенос загрязненной почвы обусловлен биотическими факторами (деятельностью почвенных животных). За счет такого перераспределения возможно, с одной стороны, нивелирование контрастности загрязнения, а с другой – формирование вторичных аномалий [31].

Проанализированы научно-методические подходы, используемые в странах Западной Европы, США, Австралии к оценке состояния почв промышленного назначения и их опасности в связи с загрязнением. С учетом международного опыта обращения с загрязненными и заброшенными территориями разработаны методические принципы выявления и оценки состояния потенциально загрязненных территорий промышленного назначения в связи с возможным изменением их целевого назначения, учитывающие обоснованность и рациональность планируемых работ, индивидуальный подход к каждому объекту, риски для здоровья населения и окружающей среды.

Выполнена оценка возможного воздействия строящегося завода по переработке промышленных отходов на эколого-геохимическое состояние почв. Прогнозные оценки показали, что за 40-летний период функционирования завода увеличение содержания тяжелых металлов в почве может составить от 1,5 до 75,0 %. Содержание водорастворимых веществ, ПАУ и ПХБ в почве за счет выбросов установок по сжиганию существенно не изменится по сравнению с существующим уровнем.

Разработана научно обоснованная система выявления, оценки, учета и обращения с загрязненными землями с целью снижения экологического риска для населения и природных комплексов [32]. Научные разработки по учету загрязненных земель реализованы в базе данных на примере загрязненных земель Гомельской области [33].

Природные комплексы городов. Исследования структурно-функциональной организации природного комплекса городов. Организация в городах экологически обоснованной и социально ориентированной системы ландшафтно-рекреационных территорий (ЛРТ), выполняющих важные экологические и рекреационные функции, является одной из ведущих задач территориально-го планирования и управления природопользованием, определяющих комфортную и безопасную среду обитания горожан и экологическое равновесие в урбозэкосистемах. Выявление и оценка соответствия структуры ЛРТ в городах выполняемым функциям (структурно-функциональная организация) актуальны при градостроительном планировании и разработке мероприятий по оптимизации городской среды. Это особенно важно в крупных городах в связи с интенсификацией градостроительных процессов, устойчивым приростом населения.

Согласно разработанным методическим подходам [5, 7], к основным показателям уровня организации ЛРТ отнесены: соотношение антропогенно преобразованных и относительно малоизмененных территорий природного комплекса, озелененность функциональных зон, обеспеченность населения озелененными ландшафтно-рекреационными территориями общего пользования и в жилой застройке, соотношение элементов озеленения, состояние и устойчивость насаждений к факторам городской среды и др. Для целей оптимизации оценка осуществляется дифференцированно в разрезе структурно-планировочных единиц городской территории (кварталов, их групп, микрорайонов, объектов озеленения) как элементов планирования и управления. Картирование показателей позволяет выявить проблемы организации, разработать направления и адресные мероприятия по оптимизации системы озеленения. Оценка структуры и организации ЛРТ проведена по основным из перечисленных выше критериям для ряда городов Беларуси: Минска, Витебска, Гомеля, Гродно, Могилева и других [34, 35].

Структура ЛРТ общего пользования для некоторых крупных городов Беларуси приведена на рис. 6, из которого видна высокая доля лесов и лесопарков в составе ландшафтно-рекреационного комплекса в крупных городах.

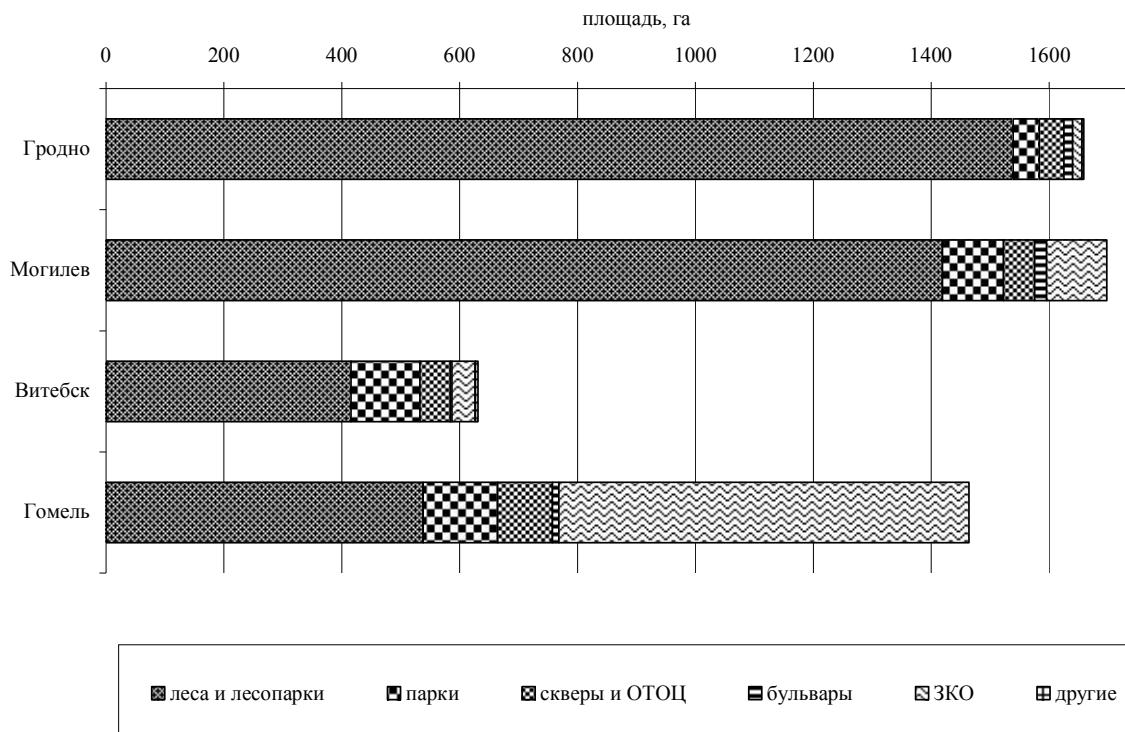


Рис. 6. Структура озелененных территорий общего пользования в крупных городах Беларусь:
ОТОЦ – озелененные территории общественных центров; ЗКО – зоны кратковременного отдыха у воды

Fig. 6. Structure of green territories of common use in large Belorussian cities:
GTCC – green territories of community centres; ZSTR – zones of short-term rest near water

На основании выполненных исследований для ряда городов (Минска, Гомеля, Витебска, Могилева, Гродно и др.) построены поквартальные тематические картосхемы основных показателей уровня организации системы озелененных территорий: обеспеченности населения озелененными территориями общего пользования и в жилой многоквартирной застройке, озелененности и плотности посадки деревьев в жилой многоквартирной застройке [5, 35]. Оценка уровня организации ЛРТ по ряду критериев на примере г. Витебска приведена на рис. 7 и 8.

Исследования позволили установить преимущественно удовлетворительный уровень организации ЛРТ на большей части территорий обследованных городов. Однако в городах выявлены также участки с очень низкими и низкими показателями по каждому из критериев, что позволило обозначить основные проблемы организации системы озелененных территорий и разработать направления и адресные мероприятия по оптимизации в каждом из обследованных городов [35]. Результаты исследований и рекомендации по оптимизации системы озеленения в городах Витебске, Гомеле и Могилеве переданы местным органам управления и обслуживающим организациям. Сведения по структуре ландшафтно-рекреационных территорий городов Витебска, Гродно, Гомеля и Могилева размещены на геопортале ЗИС Республики Беларусь.

Оценка ассимиляционного потенциала природно-растительных комплексов в городах. Для выявления экологического значения природно-растительных комплексов в городах проводятся исследования накопления загрязняющих веществ в растениях в различных техногенных условиях, оценка их ассимиляционного потенциала.

Оценка ассимиляционного потенциала лесов в городах Беларуси по отношению к диоксиду углерода выявила существенные различия в зависимости от возраста, породы и бонитета. Установлено, что в сложении ассимиляционного потенциала в лесах большинства городов Беларуси характерно доминирование сосновых, березовых и еловых биогеоценозов. В некоторых городах субдоминирующее положение занимают осиновые и дубовые (Витебск, Брест, Гродно), а также черноольховые леса (Гомель, Полоцк).



Рис. 7. Уровень обеспеченности населения г. Витебска озелененными территориями в зоне жилой многоквартирной застройки:

**1 – очень низкий (< 0,5 от нормы); 2 – низкий (0,6–0,9); 3 – средний или удовлетворительный (1,0–1,5);
4 – высокий (1,6–2,0); 5 – очень высокий (> 2,0 от нормы)**

Fig. 7. The level of provision of the population of Vitebsk city with green territories in the zone of residential multi-apartment buildings:

1 – very low (< 0,5 from the norm); 2 – low (0,6–0,9); 3 – average or satisfied (1,0–1,5);
4 – high (1,6–2,0); 5 – very high (> 2,0 from the norm)

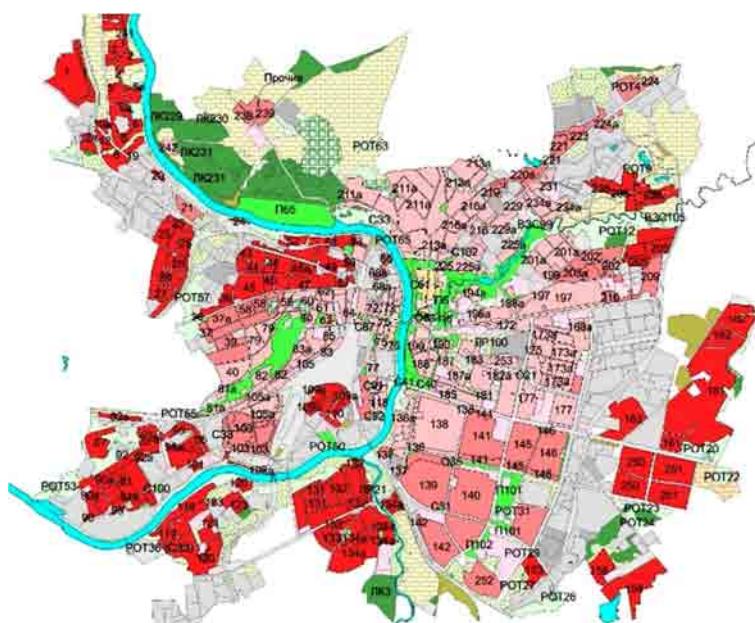


Рис. 8. Уровень обеспеченности населения г. Витебска ландшафтно-рекреационными территориями общего пользования (без учета лесов). Условные обозначения см. на рис. 7

Fig. 8. The level of provision of the population of Vitebsk city with the landscape and recreational territories of common use (excluding forests). For the notation, see Fig. 7

Осуществлена оценка депонирования диоксида углерода лесными древостоями, расположенными в г. Минске и ближайшем пригороде [36]. Суммарные оценки показали, что лесные древостои города и ближайшего пригорода поглощают около 60 тыс. т СО₂ в год, при этом ими производится около 43 тыс. т кислорода в год, а в ближайшем пригороде – 28 тыс. т.

Исследования накопления загрязняющих веществ в растениях выявило, что оно определяется как показателями индивидуального удельного накопления того или иного вида, так и положением растительного сообщества по отношению к источникам техногенных эмиссий [37].

Концептуальные основы организации природного каркаса урбанизированной территории. Одной из признанных форм управления устойчивым развитием урбанизированных территорий является выделение в их составе природного (экологического) каркаса, выполняющего значимые экологические и рекреационные функции.

Выделение природного каркаса в пределах города и пригорода важно для поддержания благоприятных условий городской среды, а также сохранения непрерывности экологических коридоров как регионального, так и национального значения, способствующих сохранению биологического разнообразия. В Беларуси создание в населенных пунктах природного каркаса предусмотрено действующими градостроительными нормами.

Разработаны концептуальные основы организации природного каркаса урбанизированной территории как ранжированной по степени эколого-рекреационной значимости системы взаимосвязанных участков природы, расположенных на собственно городской и пригородной территории, которая обеспечивает сохранение экологического равновесия в ее пределах, экологически благоприятные условия проживания, отдыха и оздоровления городского населения. Предложена принципиальная схема организации данного каркаса, включающая ключевые элементы – ядра, соединяющие их экологические коридоры, примыкающие к ним буферные зоны, а также изолированные природные объекты, имеющие высокое экологическое и рекреационное значение [38].

Разработаны подходы к выделению природного каркаса на городской территории, в состав которого могут входить элементы как природного, так и природно-антропогенного ландшафтов различного типа, генезиса и размерности, как взаимосвязанные, так и отдельно расположенные. Изучены предпосылки его организации в городах Полесья [39].

При оценке значения городских территорий для включения их в состав природного каркаса учитывается выполнение ими санитарно-гигиенических, водорегулирующих, водоохранных и рекреационных функций и их роли в сохранении биологического и ландшафтного разнообразия. В качестве ядер выступают массивы городских и пригородных лесов, лесопарков, луговых, болотных экосистем, а также парки, зоны отдыха и др.

Основные функции экологических коридоров в составе каркаса отводятся долинным комплексам рек, которые формируют каналы перемещения атмосферного воздуха, водных потоков, биоты и связь с относительно мало нарушенными природными комплексами пригорода. Это обеспечивает санацию городской территории и поддержание биоразнообразия. Немаловажное значение в городах имеют и другие природные и природно-антропогенные элементы городских ландшафтов – балки, овраги, защитные посадки вдоль дорог, коммуникаций и др.

Для ранжирования территорий по значению в выполнении экологических и рекреационных функций предложены качественные оценочные шкалы, учитывающие особенности структуры, состояния природных или природно-антропогенных объектов. При этом учитываются не только экологический и рекреационный потенциал территории, но и условия его реализации, которые определяются положением на городской территории, состоянием. Интегральная оценка экологического и рекреационного значения участков городской территории для включения в состав природного каркаса по группе критериев осуществляется путем расчета среднего значения баллов.

Оценки основаны на комплексном анализе топографической, геологической, геоморфологической и ландшафтной карт, структуры озелененных территорий по видам и типам использования и их благоустройства, структуры и состояния растительных сообществ, а также ряда экологоградостроительных сведений (функционального зонирования городской территории, границ санитарно-защитных зон, поясов охраны водозаборов, водоохранных зон, прибрежных полос, зон затопления и др.).

Геоэкологические исследования пригородной территории. В составе геоэкологических исследований пригородной территории наряду с изучением конкретных компонентов природной среды, отдельных объектов и проблем свое место занимает ее соответствующее районирование. Оно ориентировано на научное обеспечение дифференциации природоохранной деятельности в пределах данной территории.

При проведении геоэкологического районирования пригородной территории г. Минска базовой территориальной единицей изучения выступил природный ландшафт. Ход исследования включал следующие виды работ и последовательность их выполнения: природно-ландшафтное типологиче-

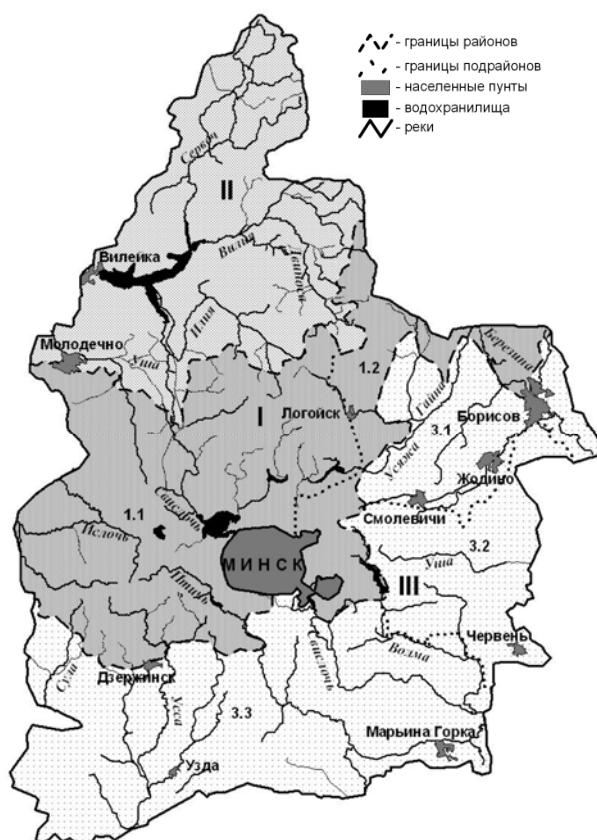
ское картирование территории – объединение выделенных типов ландшафтов в районы (ландшафтное районирование) – картирование видов земельных угодий территории и их хозяйственного использования – выявление специфики хозяйственного использования ландшафтов и присущих им проблем – выделение однородных по природно-ландшафтным условиям, хозяйственному использованию и экологическому состоянию районов – обоснование приоритетных для каждого из них природоохранных мер [40].

В ландшафтной структуре исследуемой территории самая большая доля приходится на равнинные ландшафты, которые занимают почти половину ее площади. Далее следуют ландшафты возвышенностей (более четверти) и низин (немногим менее четверти данной площади).

Ландшафты рассматриваемой пригородной территории заняты главным образом сельскохозяйственными угодьями и лесами. Доля первых из них составляет 48 %, вторых – 36 %. Показатель лесистости всей территории, так же как и практически каждого из слагающих ее типов ландшафтов (за исключением болотных), превышает 30 %, что в целом обеспечивает сохранение здесь природного равновесия. Наибольшей эрозионной опасностью характеризуются ландшафты возвышенностей (особенно с лёссовыми отложениями), где доля эрозионных форм в 2–3 раза превышает таковую равнинных ландшафтов.

В пространственном распределении ландшафтов по территории прослеживается зависимость от их генезиса. Так, центральную ее часть занимают конечно-моренные гряды сожского оледенения, на базе которых сформировались ландшафты возвышенностей, с севера к ней примыкают преимущественно моренные равнины, с юга – водно-ледниковые равнины и заболоченные низины. В соответствии с приведенным распределением ландшафтов в пределах рассматриваемой территории выделяются три ландшафтных района.

Указанные районы создали основу геоэкологического районирования территории, в котором интегрированы как ее природно-ландшафтные свойства, так и особенности хозяйственного использования (рис. 9). При этом два из трех районов разделены на подрайоны.



**Рис. 9. Геоэкологическое районирование пригородной территории г. Минска
(названия районов приведены в тексте)**

**Fig. 9. Geoenvironmental zoning of the suburban territory of Minsk
(the names of the districts are given in the text)**

Полученная схема геоэкологического районирования включает следующий набор районов и подрайонов.

I. Район многофункционального сельскохозяйственного, оздоровительного, рекреационного и водохозяйственного назначения в пределах возвышенных холмисто-моренно-эрэзионных и камово-моренно-эрэзионных ландшафтов:

1.1. подрайон высокого сельскохозяйственного освоения и умеренной лесистости, с размещением большого числа зон отдыха городского населения и водозаборов для нужд города в пределах холмисто-моренно-эрэзионных ландшафтов;

1.2. подрайон высокой лесистости и низкого сельскохозяйственного освоения с отдельными зонами отдыха в пределах камово-моренно-эрэзионных ландшафтов.

II. Район сельскохозяйственного, лесохозяйственного, водохозяйственного и частично рекреационного назначения в пределах вторичноморенных в сочетании с вторичными водно-ледниковых, озерно-аллювиальными и болотными ландшафтами.

III. Район сельскохозяйственного, водохозяйственного, оздоровительного и частично рекреационного назначения с умеренным сельскохозяйственным освоением и высокой лесистостью в пределах вторичных водно-ледниковых равнин и низин с отложениями торфа:

3.1. подрайон умеренного сельскохозяйственного освоения и высокой лесистости с отдельными зонами отдыха в пределах вторичноморенных и вторичных водно-ледниковых равнин с заболоченными речными долинами;

3.2. подрайон высокого сельскохозяйственного освоения и умеренной лесистости с водозаборами и отдельными зонами отдыха в пределах вторичных моренно-зандровых и водно-ледниковых равнин;

3.3. подрайон высокого сельскохозяйственного освоения и низкой лесистости с водозаборами в пределах вторичных водно-ледниковых ландшафтов и заболоченных низин с отложениями торфа.

Приведенная схема районирования ориентирует на выбор наиболее значимых природоохраных мер в интересах города применительно к каждому из выделенных районов. В самих названиях этих районов указаны, во-первых, приоритетные для них социально-экономические и экологические функции, которые задают соответствующие направления оптимизационной деятельности; во-вторых, лесистость как показатель сохранения в их пределах экологического равновесия; в-третьих, особенности ландшафтного строения, отражающие устойчивость районов к внешним воздействиям.

В центральном по местоположению районе I наиболее проблемным является подрайон 1.1, где распространены ландшафты холмисто-моренно-эрэзионных возвышенностей с лёссовыми отложениями, которые отличаются высоким сельскохозяйственным освоением и значительной подверженностью почвенной эрозии. Здесь же расположена большая часть пригородных рекреационных водохранилищ. Для данного подрайона в первую очередь требуются меры по предотвращению поступления продуктов эрозии в эти водохранилища. Для геоэкологического района II, расположенного в северной части пригородной территории, основным направлением оптимизационной деятельности является обеспечение благоприятного экологического состояния Вилейского водохранилища как водоема-донора для Минска.

В составе района III, занимающего южную часть пригородной территории, наибольшей экологической напряженностью характеризуется подрайон 3.3 со вторичными водно-ледниковых и болотными ландшафтами и низкой лесистостью. Для него особенно важным является формирование элементов локальной экологической инфраструктуры (для рек, сельскохозяйственных угодий, населенных пунктов, транспортных путей) и охрана водозаборов.

Заключение. Рост городов и увеличение нагрузок на природную среду обусловливают необходимость развития эколого-географических исследований урбанизированных территорий. В ближайшей перспективе таковыми должны стать исследования динамики и тенденций изменений воздействий и состояния природных компонентов в городах, совершенствование методов моделирования выбросов, рассеяния и миграции загрязняющих веществ; развитие методических подходов использования методов ДЗЗ и ГИС-технологий для оценки, картографирования и прогнозирования состояния городской среды; исследования и оценка экосистемных функций природных комплексов в городах; научное обоснование организации и разработка типовых моделей природного каркаса и экологических коридоров городов; разработка научно-методических подходов совершенствования нормирования содержания химических веществ в почвах и обращения с загрязненными территориями; разработка методов очистки загрязненных территорий и реабилитации нарушенных ландшафтов.

Список использованных источников

1. Светлогорск: экологический анализ города / В. С. Хомич [и др.] ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии. – Минск : Минсктиппроект, 2002. – 212 с.
2. Хомич, В. С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В. С. Хомич, С. В. Какарека, Т. И. Кухарчик ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т проблем использования природ. ресурсов и экологии. – Минск : Минсктиппроект, 2004. – 259 с.
3. Ландшафтные воды в условиях техногенеза / О. В. Кадацкая [и др.]. – Минск, 2005. – 347 с.
4. Струк, М. И. Региональные особенности оптимизации окружающей среды Беларуси / М. И. Струк. – Минск : Беларуская наука, 2007. – 252 с.
5. Кравчук, Л. А. Структурно-функциональная организация ландшафтно-рекреационного комплекса в городах Беларуси / Л. А. Кравчук. – Минск, 2011. – 171 с.
6. Какарека, С. В. Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха и его регулирование. – Минск : Беларуская наука, 2009. – 320 с.
7. Городская среда: геоэкологические аспекты / В. С. Хомич [и др.] ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т природопользования. – Минск : Беларуская наука, 2013. – 300 с.
8. Геоэкологические исследования городов и урбанизированных территорий Беларуси / В. С. Хомич [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2002. – Вып. 8. – С. 43–57.
9. Геоэкологические исследования урбанизированных территорий Беларуси / В. С. Хомич [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2012. – Вып. 22. – С. 141–156.
10. Какарека, С. В. Оценка выбросов формальдегида в атмосфере г. Минска / С. В. Какарека, Ю. Г. Кокош // Охрана окружающей среды и природопользование. – 2013 (январь–март). – № 1. – С. 26–33.
11. Какарека, С. В. Оценка воздействия деревообрабатывающих предприятий на уровни содержания формальдегида в атмосферном воздухе / С. В. Какарека, Ю. Г. Кокош // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2016. – Т. 60, № 2. – С. 90–96.
12. Круковская, О. Ю. Интегральная оценка источников выбросов оксидов азота на территории Беларуси : автореф. дис. ... канд. географ. наук / О. Ю. Круковская. – Минск, 2014. – 22 с.
13. Кокош, Ю. Г. Геоэкологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха формальдегидом в городах Беларуси : автореф. дис. ... канд. географ. наук. – Минск, 2017. – 22 с.
14. Какарека, С. В. Аммиак в атмосферном воздухе: источники поступления, уровни содержания, регулирование / С. В. Какарека, А. В. Мальчишина. – Минск : Беларуская наука, 2016. – 254 с.
15. Какарека, С. В. Тренды содержания диоксида серы в атмосферном воздухе Беларуси // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2017. – Вып. 31. – С. 24–156.
16. Какарека, С. В. Особенности распределения содержания диоксида азота в атмосферном воздухе улично-дорожной сети г. Минска / С. В. Какарека, О. Ю. Круковская // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2014. – № 4. – С. 96–101.
17. Какарека, С. В. Интегральная оценка поступления оксидов азота в атмосферный воздух, разработка прогноза выбросов и мероприятий по снижению выбросов и минимизации ущерба / С. В. Какарека, О. Ю. Круковская, Т. И. Кухарчик // Природные ресурсы и окружающая среда : сб. материалов по результатам выполнения заданий Государственной научно-технической программы за 2011–2015 годы / под ред. акад. И. И. Лиштвана. – Минск : Беларуская наука, 2016. – С. 56–59.
18. Какарека, С. В. Применение модели AERMOD для расчета рассеяния выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников / С. В. Какарека, С. В. Саливончик // География и природные ресурсы. – 2015. – № 1. – С. 175–184.
19. Кокош, Ю. Г. Экспериментальные исследования содержания формальдегида в атмосферном воздухе г. Минска / Ю. Г. Кокош, С. В. Какарека // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 24. – С. 35–42.
20. Строительство и функционирование Белорусской антарктической станции на горе Вечерняя, Земля Эндерби. Окончательная Всесторонняя оценка окружающей среды. – Минск, 2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.ats.aq/documents/ATCM38/att/ATCM38_att085_r.pdf. – Дата доступа : 19.01.2018.
21. Kakareka, S. Construction and Operation of Antarctic Research Stations. An Experience of Comprehensive Environmental Evaluation / S. Kakareka, T. Kukharchyk, V. Loginov. – Minsk : StroyMediaProekt, 2016. – 278 p.
22. Кадацкая, О. В. Техногенные потоки в городской среде и риск загрязнения рек Беларуси / О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, Е. П. Овчарова // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов : тр. Четвертой Всерос. науч. конф. с междунар. участием, Москва, 15–18 сент. 2015 г. – М. : ИВП РАН, 2015. – С. 294–297.
23. Романкевич, Ю. А. Комплексная эколого-геохимическая оценка состояния водных объектов малого города Беларуси (на примере г. Несвижа) / Ю. А. Романкевич // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2015. – Вып. 27. – С. 85–94.
24. Овчарова, Е. П. Геоэкологические критерии для целей реабилитации водных объектов на урбанизированных территориях / Е. П. Овчарова, О. В. Кадацкая // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2014. – Вып. 26. – С. 25–30.
25. Овчарова, Е. П. Состояние водных объектов урбанизированных территорий (на примере городов Минской области) / Е. П. Овчарова, Е. В. Санец, О. В. Кадацкая // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2016. – Вып. 29. – С. 65–75.
26. Методические подходы к оценке загрязнения донных отложений реки тяжелыми металлами (на примере р. Свисочи) / Е. П. Овчарова [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2016. – Вып. 30. – С. 50–59.
27. Санец, Е. В. Методические подходы к оценке эколого-рекреационной значимости водных объектов в составе природного каркаса города / Е. В. Санец, О. В. Кадацкая, Е. П. Овчарова // Актуальные проблемы наук о

- Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 25–27 сент. 2017 г. : в 2 ч. – Брест : БрГУ, 2017. – Ч. 2. – С. 135–137.
28. Козыренко, М. И. Эколого-геохимическая оценка трансформации почв в зоне воздействия лакокрасочного производства : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / М. И. Козыренко. – Минск, 2013. – 22 с.
 29. Козыренко, М. И. Загрязнение почв при производстве лакокрасочных материалов / М. И. Козыренко, Т. И. Кухарчик // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2015. – № 3. – С. 230–238.
 30. Козыренко, М. И. Тяжелые металлы в лакокрасочной продукции: анализ существующей ситуации и меры по регулированию / М. И. Козыренко, Т. И. Кухарчик // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2015. – Вып. 27. – С. 101–108.
 31. Лапко, Т. Л. Изучение перераспределения ПХБ с загрязненной почвой (на примере подстанции электросетей, Лидский район) / Т. Л. Лапко, М. И. Козыренко // Природопользование: состояние и перспективы развития : материалы науч. конф. молодых ученых, Минск, 26–27 марта 2014 г. – Минск, 2014. – С. 55–58.
 32. Разработка научно обоснованной системы выявления, оценки, учета и обращения с загрязненными землями (включая почвы) с целью снижения экологического риска для населения и природных комплексов / В. С Хомич [и др.] // Природные ресурсы и окружающая среда : сб. науч. тр. по результатам выполнения ГНТП за 2011–2015 годы / под ред. академика И. И. Лиштвана. – Минск, 2016. – С. 130–134.
 33. Принципы организации базы данных «Учет земель, загрязненных химическими и иными веществами» (на примере Гомельской области) / В. С Хомич [и др.] // Географические аспекты устойчивого развития регионов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 23–24 апр. 2015 г. : в 2 т. – Гомель, 2015. – Т. 1. – С. 246–248.
 34. Структура природно-растительных комплексов в городах Беларуси / Л. А. Кравчук [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 145–154.
 35. Кравчук, Л. А. Оценка уровня организации системы озелененных территорий в крупных городах Беларуси / Л. А. Кравчук, Н. М. Баженова // Зеленая инфраструктура городской среды: современное состояние и перспективы развития : материалы Междунар. науч.-практ. эколог. конф., Воронеж, 6–7 сент. 2017. – М., 2017. – С. 65–68.
 36. Ассимиляция диоксида углерода лесами Минска и пригорода / Л. А. Кравчук [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2014. – Вып. 26. – С. 72–76.
 37. Пац, А. Ч. Сравнительный анализ аккумуляции пыли и тяжелых металлов древесными растениями в зонах воздействия промышленных предприятий / А. Ч. Пац // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2014. – Вып. 26. – С. 77–84.
 38. Струк, М. И. Принципиальная схема организации природного каркаса крупного города / Актуальные проблемы геоэкологии и ландшафтования : сб. науч. ст. / редкол.: А. Н. Витченко (отв. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2016. – Вып. 3. – С. 88–91.
 39. Кравчук, Л. А. Предпосылки формирования природного каркаса в городах Белорусского Полесья / Л. А. Кравчук, Н. М. Баженова, О. А. Мазец // Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья : сб. докл. Междунар. науч. конф., Минск, 14–17 сент. 2016 г. : в 2 т. – Минск : Беларусская наука, 2016. – Т. 1. – С. 241–245.
 40. Струк, М. И. Методические подходы и результаты геоэкологического районирования пригородной территории Минска / М. И. Струк, С. Г. Живнач // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 115–124.

References

1. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchyk T. I., Kravchuk L. A.. *Svetlogorsk: ekologicheskiy analiz goroda* [Svetlogorsk: environmental analysis of the city]. Minsk, 2002, 212 p.
2. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchyk T. I. *Ekogeokhimiya gorodskikh landshaftov Belarusi* [Ecogeochimistry of urban landscapes in Belarus]. Minsk, 2004, 259 p.
3. Kadatskaya O. V., Khomich V. S., Sanets E. V., Struk M. I. [et al.]. *Landshaftnyye vody v usloviyakh tekhnogeneza* [Landscape Waters in conditions of technogenesis]. Minsk, 2005, 347 p.
4. Struk M. I. *Regional'nyye osobennosti optimizatsii okruzhayushchey sredy Belarusi* [Regional features of optimization of the environment of Belarus]. Minsk, 2007, 252 p.
5. Kravchuk L. A. *Strukturno-funktional'naya organizatsiya landshaftno-rekreatsionnogo kompleksa v gorodakh Belarusi* [Structural and functional organization of the landscape-recreational complex in the cities of Belarus]. Minsk, 2011, 171 p.
6. Kakareka S.V. *Transgranichnoye zagryazneniye atmosfernogo vozdukha i yego regulirovaniye* [Transboundary air pollution and its regulation]. Minsk, 2009, 320 p.
7. Khomich V. S. [et al.]. *Gorodskaya sreda: geoekologicheskiye aspekty* [Urban environment: geoecological aspects]. Minsk, 2013, 300 p.
8. Khomich V. S., Kakareka S. V., Struk M. I., Kadatskaya O. V., Kukharchyk T. I., Prokopenya V. A., Kravchuk L. A., Koval'chik N. V., Makayeva E. S. *Geoekologicheskiye issledovaniya gorodov i urbanizirovannykh territoriy Belarusi* [Geoecological research of cities and urbanized territories of Belarus]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2002, vol. 8, pp. 43–57.
9. Khomich V. S., Kakareka S. V., Kukharchyk T. I., Struk M. I., Kravchuk L. A., Kadatskaya O. V., Savchenko S. V., Sanets E. V., Bykova N. K., Ovcharova E. P., Ryzhikov V. A. *Geoekologicheskiye issledovaniya urbanizirovannykh territoriy Belarusi* [Geoecological research of urbanized territories of Belarus]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov =*

Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management", Minsk, 2012, vol. 22, pp. 141–156.

10. Kakareka S. V., Kokosh Yu. G. *Otsenka vybrosov formal'degida v atmosferu g. Minska* [Estimation of formaldehyde emissions into the atmosphere of Minsk city]. *Okhrana okruzhayushchey sredy i prirodopol'zovaniye. OAO "NII Atmosfera" = Environmental protection and nature management – JSC "Scientific research Institute Atmosphere"*, 2013, no. 1, pp. 26–33.
11. Kakareka S. V., Kokosh Yu. G. *Otsenka vozdeystviya derevoobrabatyvayushchikh predpriyatiy na urovni soderzhaniya formal'degida v atmosfernem vozdukhe* [Impact assessment of wood-processing facilities on formaldehyde concentrations in atmospheric air]. *Doklady Natsionalnoi Akademii Nauk Belarusi = The Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2016, no. 60(2), pp. 90–96.
12. Krukowskaya O. Yu. *Integral'naya otsenka istochnikov vybrosov oksidov azota na territorii Belarusi*. Autoref. cand. geograf. nauk [Integrated assessment of nitrogen oxides emission sources on the territory of Belarus. PhD. geogr. sci. thesis]. Minsk, 2014, 22 p.
13. Kokosh Yu. G. *Geoekologicheskaya otsenka zagryazneniya atmosfernogo vozdukha formal'degidom v gorodakh Belarusi*. Autoref. cand.geograf. nauk [Geoecological assessment of the formaldehyde air pollution in cities of Belarus PhD. geogr. sci. thesis]. Minsk, 2017, 22 p.
14. Kakareka S. V., Mal'chikhina A. V. *Ammiak v atmosfernem vozdukhe: istochniki postupleniya, urovni soderzhaniya, regulirovaniye* [Ammonia in the atmospheric air: sources of intake, levels of content, regulation]. Minsk, 2016, 254 p.
15. Kakareka S. V. *Trendy soderzhaniya dioksida sery v atmosfernem vozdukhe Belarusi* [Trends of sulfur dioxide content in the atmospheric air of Belarus]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2017, vol. 31, pp. 24–34.
16. Kakareka S. V., Krukowskaya O. Yu. *Osobennosti raspredeleniya soderzhaniya dioksida azota v atmosfernem vozdukhe ulichno-dorozhnoy seti g. Minska* [Peculiarities of the nitrogen dioxide distribution in the atmospheric air of the road network in Minsk]. *Doklady Natsionalnoi Akademii Nauk Belarusi = The Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2014, no. 4, pp. 96–101.
17. Kakareka S. V., Krukowskaya O. Yu., Kukharchyk T. I. *Integral'naya otsenka postupleniya oksidov azota v atmosfernem vozdukhe, razrabotka prognoza vybrosov i meropriyatii po sravnennyu s vybrosami i minimizatsii ushcherba* [Intergated assessment of nitrogen oxides emissions into the atmospheric air, development of emission forecast and measures for emissions reduction and minimization of its damage]. *Sbornik materialov po rezul'tatam vypolneniya zadaniy Gosudarstvennaya nauchno-tehnicheskaya programma «Prirodnyye resursy i okruzhayushchaya sreda» [Proc. of SSTP "Natural resources and environment"]*. Minsk, 2016, pp. 56–59.
18. Kakareka S. V., Salivonchik S. V. *Primeneniye modeli AERMOD dlya rascheta rasseyaniya vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv ot stationarnykh istochnikov* [Application of the AERMOD model for calculating dispersion of air pollutants emissions from stationary sources]. *Geografiya i prirodnyye resursy = Geography and Natural resources*, 2015, no. 1, pp. 175–184.
19. Kokosh Yu. G., Kakareka, S. V. *Eksperimental'nyye issledovaniya soderzhaniya formal'degida v atmosfernem vozdukhe g. Minska* [Experimental research of formaldehyde concentrations in atmospheric air in Minsk]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2013, vol. 24, pp. 35–42.
20. Stroitel'stvo i funktsionirovaniye Belorusskoy antarkticheskoy stantsii na gore Vechernyaya, Zemlya Enderbi. Okonchatelnaya Vsestoronnaya otsenka okruzhayushchey sredy [Construction and operation of the Belarussian Antarctic station on the Vechernyaya mountain, Enderby Land. Final Comprehensive environmental assessment]. Available at: www.ats.aq/documents/ATCM38/att/ATCM38_att085_r.pdf.
21. Kakareka S., Kukharchyk T., Loginov V. *Construction and Operation of Antarctic Research Stations. An Experience of Comprehensive Environmental Evaluation*. Minsk, 2016, 278 p.
22. Kadetskaya O. V., Sanets E. V., Aucharova A. P. *Tekhnogennye potoki v gorodskoj srede i risk zagiaznenija rek Belarusi* [Technogenic flows in the urban environment and the risk of pollution of the rivers of Belarus]. *Trudy 4 Vsesrossijskoy nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem "Fundamentalye problemy vody i vodnyh resursov"* [Proc. 4th All-Russian Sci. Conf. with International Participation "Fundamental problems of water and water resources"]. Moscow, 2015, pp. 294–297.
23. Romankevich J. A. *Kompleksnaja ecologo-geokhimicheskaja ocenka sostojanija vodnyh ob'ektov malogo goroda Belarusi (na primere g. Nesvizha)* [Complex Ecological-geochemical assessment of the water bodies of small towns of Belarus (by the example of Nesvizh)]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2015, vol. 27, pp. 85–94.
24. Aucharova A. P., Kadetskaya O. V. *Geoecologicheskie kriterii dlja celej reabilitacii vodnykh ob'ektov na urbanizirovannykh territorijakh* [Geoecological criteria for the rehabilitation of water bodies on urban territories]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2014, vol. 26, pp. 25–30.
25. Aucharova A. P., Kadetskaya O. V. *Sostojanie vodnykh ob'ektov urbanizirovannykh territorij (na primere gorodov Minskoy oblasti)* [State of water bodies of urban territories (by the example of cities of the Minsk region)]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2016, vol. 29, pp. 65–75.
26. Aucharova A. P., Khomich V. S., Kadetskaya O. V., Sanets E. V., Sarkar S. K., Dashkevich M. M., Tistchikov I. G. *Metodicheskie podkhody k ocenke zagiaznenija donnykh otlozhenij reki tiazhelymi metallami (na primere r. Svislochi)* [Methodical approaches to the assessment of pollution of river bottom sediments by heavy metals (by example of the

- Svisloch River)]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2016, vol. 30, pp. 50–59.
27. Sanets E. V., Kadatskaya O. V., Aucharova A. P. *Metodicheskie podkhody k ocenke ekologo-rekreacionnoj znachimosti vodnykh ob'ektov v sostave prirodного karkasa goroda* [Methodical approaches for the assessment of the ecological and recreational significance of water bodies within the natural framework of the city]. *Materialy mezdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii "Aktualnyje problemy nauk o Zemle: ispolzovaniye prirodnykh resursov i sokhranenie okruzhajustchej sredy"* [Proc. Int. Sci.-Pract. Conf. "Actual problems of Earth sciences: use of natural resources and preservation of the environment"]. Brest, 2017, vol. 2, pp. 135–137.
28. Kozyrenko M. I. *Ekologo-geokhimicheskaja ocenka transformacii pochv v zone vozdejstvija lakokrasochchnogo proizvodstva*. Aftoref. diss. kand. geogr. nauk [Ecological-geochemical assessment of soil transformation in the areas affected by paint and varnish production. Cand. geogr. sci. diss. abstract]. Minsk, 2013. 22 p.
29. Kozyrenko M. I., Kukharchyk T. I. *Zagrizaznenie pochv pri proizvodstve lakokrasochnykh materialov* [Soil contamination during the production of paints and varnishes]. *Geoekologija. Inzhenernaja geologija. Gidrogeologija. Geokriologija* [Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology], 2015, no. 3, pp. 230–238.
30. Kozyrenko M. I., Kukharchyk T. I. *Tiazhelye metally v lakokrasochnoj produkcii: analiz sostchestvujustchej situacii i mery po regulirovaniyu* [Heavy metals in paint and varnish products: an analysis of the current situation and measures to regulate]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2015, vol. 27, pp. 101–108.
31. Lapko T. L., Kozyrenko M. I. *Izuchenie pereraspredelenija PCB s zagriaznennoj pochvoj (na primere podstancii elektrosetej, Lidskij rajon)* [Study of redistribution of PCBs with contaminated soil (by example of substation of electric networks, Lida district)]. *Materialy nauchnoj konferencii molodykh uchenykh "Pridopolzovanie: sostojanie i perspektivy razvitiya"* [Proc. Sci. conf. of young scientists "Nature management: state and development prospects"]. Minsk, 2014, pp. 55–58.
32. Khomich V. S., Savchenko S. V., Golovatyj S. E., Kuzmin S. I., Eresko M. A. *Razrabotka nauchno obosnovannoj sistemy vyjavlenija, ocenki, ucheta i obrastchenija s zagriaznennymi zemliami (vkluchaja pochy) s celju snizhenija ekologicheskogo riska dla naselenija i prirodnykh kompleksov* [Development of a scientific system for an identification, assessment, recording and management of contaminated land (including soils) in order to reduce the environmental risk for the population and natural complexes]. *Sbornik nauchnykh trudov po rezul'tatam vypolnenija GNTP "Prirodnye resursy i okruzhajustchaja sreda" za 2011–2015 gody* [Proc. of the results of the implementation of the State Scientific and Technical Program "Natural Resources and the Environment" for 2011–2015]. Minsk, 2016, pp. 130–134.
33. Khomich V. S., Savchenko S. V., Salivonchik S. V., Romankevich J. A., Zharkina N. I., Eresko M. A. *Principy organizacii bazy dannykh "Uchet zemel, zagriaznennykh khimicheskimi i inymi vestchestvami"* (na primere Gomelskoy oblasti) [Principles of the organization of the database "Record of the land contaminated by chemical and other substances" (by the example of the Gomel region)]. *Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii "Geograficheskie aspekty ustojchivogo razvitiya regionov"* [Proc. Sci.-Pract. Conf. "Geographical aspects of sustainable development of regions"]. Gomel, 2015, vol. 1, pp. 246–248.
34. Krauchuk L. A., Sudnik A. V., Bykova N. K., Pats A. Ch. *Struktura prirodno-rastitelnykh kompleksov v gorodakh Belarusi* [The structure of natural and plant complexes in the cities of Belarus]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2012, vol. 21, pp. 145–154.
35. Krauchuk L. A., Bazhenova N. M. *Ocenka urovnia organizacii sistemy ozelenennykh territorij v krupnykh gorodakh Belarusi* [Assessment of the level of organization of the system of green areas in large cities of Belarus]. *Materialy mezdunarodnoj nauchno-prakticheskoy ekologicheskoy konferencii "Zelenaja infrastruktura gorodskoj sredy: sovremennoe sosnojanie i perspektivy razvitiya"* [Proc. Int. Sci.-Pract. Conf. "Green infrastructure of the urban environment: current state and development prospects"]. Moscow, 2017, pp. 65–68.
36. Krauchuk L. A., Sudnik A. V., Bykova N. K., Bazhenova N. M., Pats A. Ch. *Assimiliacija dioksida ugleroda lesami Minska i prigoroda* [Assimilation of carbon dioxide by the forests of Minsk and its suburb]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2014, vol. 26, pp. 72–76.
37. Pats A. Ch. *Sravnitelnyj analiz akkumulyaci pyli i tiazhelykh metallov drevesnymi rastenijami v zonakh vozdejstvija promyshlennych predpriyatiy* [Comparative analysis of accumulation of dust and heavy metals by woody plants in the zones of exposure of industrial enterprises]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2014, vol. 26, pp. 77–84.
38. Struk M. I. *Principalnaja skhema organizacii prirodного karkasa krupnogo goroda* [Fundamental diagram of the organization of the natural framework of a large city]. *Aktualnyje problemy geoekologii i landshaftovedenija* [Actual problems of geoecology and landscape studies]. Minsk, 2016, vol. 3. pp. 88–91.
39. Krauchuk L. A., Bazhenova N. M., Mazets O. A. *Predposytki formirovaniya prirodного karkasa v gorodakh Beloruskogo Polesja* [Preconditions of the formation of a natural framework in the cities of the Belarusian Polesye]. *Sbornik dokladov mezdunarodnoj nauchnoj konferencii "Problemy racionalnogo ispolzovaniya prirodnykh resursov i ustojchivije Polesija"* [Proc. Int. Sci. Conf. "Problems of rational use of natural resources and sustainable development of Polesye Region"]. Minsk, 2016, vol. 1. pp. 241–245.
40. Struk M. I., Zhyunach S. G. *Metodicheskie podkhody i rezul'taty geoekologicheskogo rajonirovaniya prigrodnoj territorii Minska* [Methodological approaches and results of geoecological zoning of the suburb of Minsk]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2013, vol. 23, pp. 115–124.

Информация об авторах

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

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

Кухарчик Тамара Иосифовна – д-р геогр. наук, гл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kukharchyk@mail.ru

Струк Михаил Игоревич – канд. геогр. наук, вед. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь).

Кравчук Людмила Александровна – канд. геогр. наук, вед. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kravchu-k@yahoo.co.uk

Кадацкая Ольга Владимировна – канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: olga-kad@rambler.ru

Санец Елена Васильевна – канд. геогр. наук, зав. лаб. оптимизации геосистем, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: elena-sanets@yandex.ru

Савченко Светлана Валентиновна – канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь).

Саливончик Светлана Васильевна – канд. геогр. наук, вед. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: salivonchyk@yahoo.co.uk

Оечарова Елена Петровна – канд. геогр. наук, науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: geosystem1@rambler.ru

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

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

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, Republic of Belarus). E-mail: sk001@yandex.ru

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: kukharchyk@mail.ru

Mikhail I. Struk – Ph.D. (Geography), Leading Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus).

Ludmila A. Kravchuk – Ph.D. (Geography), 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: kravchu-k@yahoo.co.uk

Olga V. Kadatskaya – 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: olga-kad@rambler.ru

Elena V. Sanets – Ph. D. (Geography), Head of Lab. of Geosystem Optimization, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: elena-sanets@yandex.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).

Svetlana V. Salivonchyk – Ph.D. (Geography), 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: salivonchyk@yahoo.co.uk

Alena P. Aucharova – Ph.D. (Geography), Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: geosystem1@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

Мальчихина Анна Васильевна – канд. геогр. наук, науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail:anna_malchihina@tut.by

Козыренко Маргарита Ивановна – канд. геогр. наук, науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: margarita_kozyrenko@tut.by

Круковская Ольга Юрьевна – канд. геогр. наук, науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: o-krukowskaya@tut.by

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

Hanna V. Malchykhina – Ph.D. (Geography), Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anna_malchihina@tut.by

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, Republic of Belarus). E-mail: margarita_kozyrenko@tut.by

Olga Y. Krukowskaya – Ph.D. (Geography), Researcher, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: o-krukowskaya@tut.by

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, Republic of Belarus). E-mail:y-kokosh@mail.ru

УДК 553.04 (476)

Поступила в редакцию 06.03.2018

Received 06.03.2018

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В БЕЛАРУСИ (1991–2017)

**Р. Е. Айзберг¹, А. А. Махнач², А. К. Карабанов¹, А. В. Матвеев¹, Р. Г. Гарецкий¹,
А. В. Кудельский¹, Я. Г. Грибик¹, Г. И. Каратаев¹, В. И. Пашкевич¹, В. Г. Жогло¹,
Т. Б. Рылова¹, В. П. Зерницкая¹**

¹*Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь;*

²*Филиал «Институт геологии» Республиканского унитарного предприятия
«Научно-производственный центр по геологии», Минск, Беларусь*

Аннотация. В статье представлена информация об основных направлениях и результатах геологических исследований в Беларуси за последние годы. Особое внимание обращено на результаты исследований по региональной геологии, тектонике, геодинамике, геофизике, геохимии, литологии, петрологии, минерагении, гидро-геологии, стратиграфии и палеонтологии, палеогеографии. Одним из крупных достижений белорусских геологов является создание новых региональных стратиграфических схем докембра и фанерозоя, которые являются научной основой картирования отложений при крупномасштабной геологической съемке нового поколения. Выполнен ряд крупных монографических обобщений результатов геологических и гидрогеологических исследований, издана серия карт.

Ключевые слова: геология; тектоника; геодинамика; литология; петрология; минерагение; стратиграфия и палеонтология; геофизика; геохимия; палеогеография; геологическая съемка.

Для цитирования. Айзберг Р. Е., Махнач А. А., Карабанов А. К., Матвеев А. В., Гарецкий Р. Г., Кудельский А. В., Грибик Я. Г., Каратаев Г. И., Пашкевич В. И., Жогло В. Г., Рылова Т. Б., Зерницкая В. П. Основные направления и результаты геологических исследований в Беларуси (1991–2017) // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 46–66.

MAIN DIRECTIONS AND RESULTS OF GEOLOGICAL RESEARCH IN BELARUS (1991–2017)

**R. E. Aizberg¹, A. A. Makhnach², A. K. Karabanov¹, A. V. Matveyev¹, R. G. Garetsky¹,
A. V. Kudelsky¹, Ya. G. Gribik¹, G. I. Karataev¹, V. I. Pashkevich¹, V. G. Zhoglo¹,
T. B. Rylova¹, V. P. Zernitskaya¹**

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

²*Branch "Institute for Geology" of the Republican Unitary Enterprise
"Scientific and Production Center for Geology", Minsk, Belarus*

Abstract. The information about the main directions and results of geological research in Belarus for several last years is shown. Particular attention is paid to the research results on regional geology, tectonics, geodynamics, geophysics, geochemistry, lithology, petrology, mineralogy, hydrogeology, stratigraphy and paleontology, paleogeography. One of the main achievements of Belarusian geologists is the creation of new Precambrian and Phanerozoic regional stratigraphic schemes which are the scientific base of sediments mapping during the large-scale geological survey of new generation. The range of large monographic results generalizations of geological and hydrogeological research is done, maps series are published.

Key words: geology; tectonics; geodynamics; lithology; petrology; mineralogy; stratigraphy and paleontology; geophysics; geochemistry; paleogeography; geological survey.

For citation. Aizberg R. E., Makhnach A. A., Karabanov A. K., Matveyev A. V., Garetsky R. G., Kudelsky A. V., Gribik Ya. G., Karataev G. I., Pashkevich V. I., Zhoglo V. G., Rylova T. B., Zernitskaya V. P. Main directions and results of geological research in Belarus (1991–2017). *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 46–66.

Исследования в области наук о Земле, в том числе геологических наук (региональная геология, тектоника, геодинамика, литология, петрология, стратиграфия и палеонтология, геофизика, геохимия, палеогеография) проводятся в научных и научно-производственных организациях Национальной академии наук (Институт природопользования), Минприроды (Научно-производственный центр по геологии), а также в БГУ, БНТУ и ряде других университетов.

Исследования Института природопользования НАН Беларусь, в котором сосредоточен наиболее высокий научный потенциал (50 кандидатов и 18 докторов наук, в том числе 6 академиков

и 2 члена-корреспондента), осуществляются в рамках приоритетных направлений научной и научно-технической деятельности и направлены на решение актуальных проблем, имеющих особую значимость для обеспечения экологической безопасности и устойчивого социально-экономического развития страны.

Ранее в Национальной академии наук Беларуси (Институт геохимии и геофизики) были образованы и продолжают развиваться (Институт природопользования) мощные научные школы в области тектоники и геодинамики, региональной геологии и геофизики, палеонтологии и стратиграфии, минерагении, гидрогеологии, геэкологии. Разработаны современные технологии комплексной переработки твердых горючих ископаемых (торф, сапропель, бурье угли, горючие сланцы), созданы междисциплинарные научно-исследовательские центры (клUSTERы): Республиканский научный центр торфа и сапропелей (руководитель – академик И. И. Лиштван), Головной научный центр литосферы, гидросфера и полезных ископаемых (руководитель – академик А. К. Карабанов), Ведущий научный центр геоэкологических исследований (руководитель – доктор географических наук В. С. Хомич), Республиканский центр климатических и полярных исследований (руководитель – академик В. Ф. Логинов). В то же время в Институте геологии (филиал НПЦ) проводятся исследования в области региональной геологии, литологии, петрологии, минерагении, гидрогеологии, стратиграфии и палеонтологии.

Значительный научный потенциал в области наук о Земле имеет Научно-производственный центр по геологии Минприроды. В Институте геологии (филиал Центра) работают 127 сотрудников, включая 18 кандидатов и 4 докторов наук (в том числе 1 академика), проводятся исследования в области региональной геологии, литологии, петрологии, гидрогеологии, стратиграфии и палеонтологии.

Результаты исследований, полученные белорусскими учеными в 1991–2017 гг., опубликованы в десятках монографий, а также многочисленных статьях, изданных в Беларуси и за рубежом. Одной из важнейших публикаций этого периода стала фундаментальная монография "Геология Беларуси" (2001) [1], содержащая обширные сведения по всем направлениям геологии, составу и строению кристаллического фундамента и платформенного чехла (под редакцией академиков А. С. Махнача, Р. Г. Гарецкого, А. В. Матвеева и др.). Активная и плодотворная работа по различным направлениям геологии продолжалась и в дальнейшем.

Геофизика, тектоника, геодинамика. Тектонические и геодинамические исследования территории Беларуси, как и иных регионов с мощным платформенным чехлом, осуществлялись на основе геофизических данных (сейсмических, геомагнитных, гравитационных, магнитотеллурических) и материалов бурения. Комплексный анализ геолого-геофизических данных позволил определить общие черты строения земной коры и верхней мантии до глубины 50–60 км и более детально – верхней части фундамента и платформенного чехла.

Важнейшая характеристика земной коры определяется глубиной залегания и структурой поверхности Мохоровичча (поверхности Мохо), которая разделяет земную кору и верхнюю мантию. На территории Беларуси она находится, в основном, на глубинах 40–55 км. Вычисленная мощность литосферы, включая также и земную кору, изменяется в пределах 100–200 км, а подстилающей ее астеносфере – в пределах 30–120 км. Особенности структуры литосферы и астеносферы отражены на разработанных геологами Института природопользования НАН Беларуси (академик Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев) моделях и соответствующих схемах.

В 1996–1997 гг. выполнены исследования западной части Восточно-Европейского кратона по глубинным сейсмическим профилям Евробридж–96 и Евробридж–97, проходящие по территории Литвы, Беларуси, Украины. Установлены детали строения земной коры и поверхности Мохоровичча (Мохо) в районе Белорусского кристаллического массива, Припятского прогиба в пределах Беларуси, Украинского щита и Подольского блока на Украине. Характер поверхности Мохо в пределах Фенноскандии и Сарматии свидетельствует о подъеме этой поверхности в районе Коростеньского plutona (Украина) и более глубоком расположении кровли мантии на территории Беларуси (академик Р. Г. Гарецкий, А. А. Белинский, Г. И. Каратаев, Г. С. Злотский, В. Н. Астапенко).

В 2000 г. в рамках международного проекта Celebration–2000 на территории Беларуси выполнен глубинный профиль ГСЗ, ориентированный с юго-запада на северо-восток, от Бреста до границы с Новгородской областью. Прослежено геологическое строение земной коры до глубины 60 км от Паннонского бассейна (Венгрия, Словакия) через Карпатский регион, Люблинский бассейн в Польше и через Фенноскандию на территорию Беларуси. Установлено устойчивое понижение поверхности Мохо с запада от глубин 22–25 км на западе до 45–50 км на территории Беларуси.

По результатам глубинных сейсмических исследований земной коры Беларуси и прилегающей территории выполнен тектонофизический анализ зоны сочленения главных сегментов фундамента Восточно-Европейской платформы (Фенноскандии, Сарматии, Волго-Уралы) в районе Слободского тектоно-геодинамического узла, располагающегося в Оршанской впадине (академик Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев) [2]. Прослежен процесс коллизии, сформировавший Центральнобелорусскую и Рязано-Саратовскую шовные зоны, определяемые в качестве перспективных металлогенических участков (рис. 1).

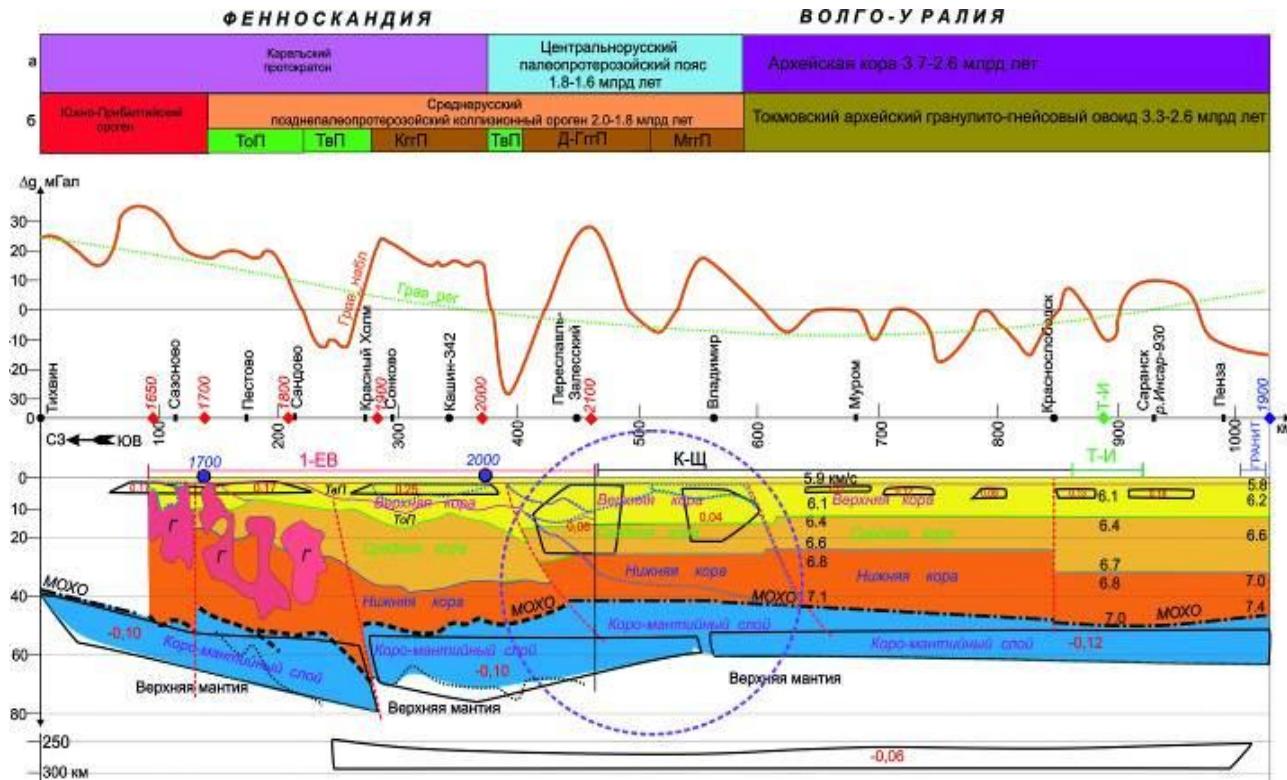


Рис. 1. Сейсмоплотностная геолого-геофизическая модель строения земной коры зоны сочленения Фенноскандии и Волго-Урала

Fig. 1. Seismo density geological and geophysical model of the structure of the earth crust of the joint zone of Fennoscandia and Volga-Urals

В 2013 г. на территории Беларуси и Украины выполнен международный геофизический профиль «Георифт–2013» по направлению Несвиж–Брагин–Чернигов–Полтава общей протяженностью 670 км (в том числе на территории Беларуси – 310 км). Изучен Припятско-Днепровско-Донецкий палеорифт, к которому приурочены Припятский и Днепровско-Донецкий нефтегазоносные бассейны [3, 4].

Припятский прогиб слабо выражен в скоростной модели консолидированной коры. Здесь не наблюдается типичного для большинства палеорифтов (в том числе Днепровского) подъема поверхности Мохо и уменьшения мощности коры в приосевой зоне.

В 2017 г. завершились окончательная обработка и составление модели глубинного строения земной коры и верхней мантии по международному профилю глубинных сейсмических зондирований «Георифт–2013» по отработанному профилю Несвиж–Брагин–Чернигов–Полтава. В состав международной рабочей группы входили геофизики и геологи Украины, Беларуси, Польши, Финляндии, Дании (участниками группы от Беларуси являются специалисты Института природопользования: член-корреспондент Р. Е. Айзберг, академик Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев, Я. Г. Грибик) (рис. 2).

В результате проведенных исследований установлены новые принципиальные особенности структуры консолидированной коры и верхней мантии в зоне, подстилающей Припятский и Днепровский нефтегазоносные осадочные бассейны. Это позволяет поднять уровень теоретических и прикладных исследований в области минерагении и, прежде всего, углеводородного сырья [5].

В кристаллическом фундаменте Беларуси установлено несколько крупных региональных структур различного возраста и с разной историей развития; к числу этих структур относятся Инчукалинский прогиб, Белорусско-Прибалтийский гранулитовый пояс, Смолевичско-Дрогичинская (Центрально-Белорусская) шовная зона, Осницко-Микашевичский вулканоплутонический пояс, Витебский и Брагинский гранулитовые массивы. Эти структуры были выделены и отражены на картах, составленных сотрудниками БелНИГРИ и Института геохимии и геофизики НАН Беларуси (Н. В. Аксаментова, И. В. Найденков, М. А. Пап и др.). Геологические и геофизические данные позволяют считать, что границами этих структур являются глубинные разломы. Показано, что главной особенностью Центрально-Белорусской зоны фундамента, позволяющей рассматривать ее как шовную структуру, является геодинамическая позиция в области сочленения резко различающихся по вещественному составу, строению и времени консолидации крупных блоков земной коры – Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса на западе и Осницко-Микашевичского вулканоплутонического пояса на востоке.

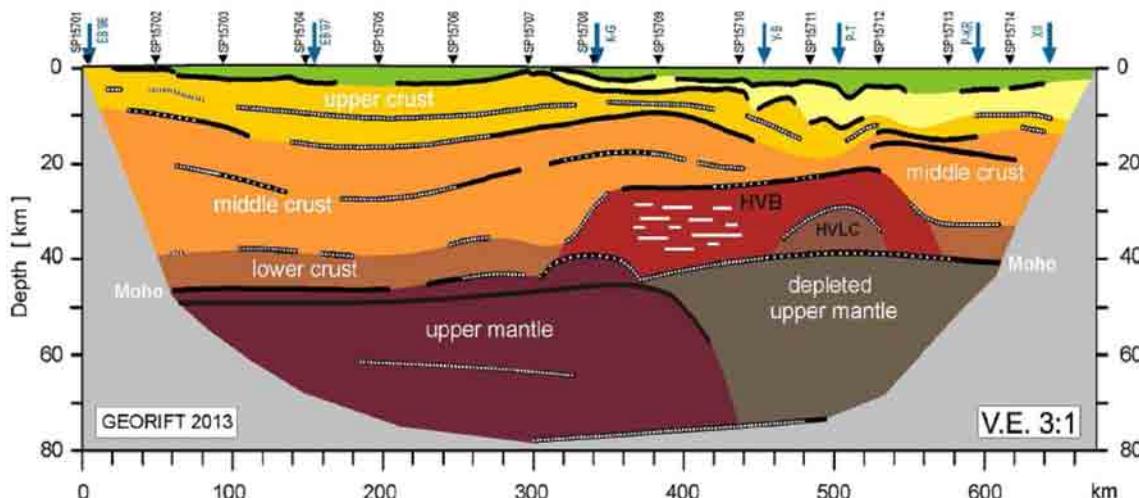


Рис. 2. Модель глубинного строения земной коры до глубины 80 км в пределах Припятского прогиба (Беларусь) и Днепровско-Донецкой впадины (Украина). Исследования выполнены по международной программе «Георифт–2013»

Fig. 2. The model of the deep structure of earth crust to the deep of 80 km in the borders of Prypjat flexure (Belarus) and Dnieper-Donetsk depression (Ukraine). Research were carried out on the “GEORIFT–2013” International Program

Начиная с 1993 г., публикуются результаты принципиально новых реконструкций геодинамической обстановки архея, палео- и мезопротерозоя в пределах Восточно-Европейской платформы (С. В. Богданова). На основе этих фундаментальных работ применительно к фундаменту Беларуси появились новые, альтернативные предшествующим представления о времени формирования крупных структур фундамента (С. В. Богданова, Л. Н. Таран), показывающие, что породы, слагающие тектонические пояса Беларуси и Прибалтики, имеют не архейский, а палеопротерозойский возраст, близкий к возрасту пород аналогичных поясов Швеции и Финляндии. Исходя из этой концепции, С. В. Богданова, академик Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев и др. ученые полагают, что Центрально-Белорусская шовная зона образовалась в палеопротерозое в результате столкновения (коллизии) континентов Фенноскандии (на северо-западе) и Сарматии (на юго-востоке), чему предшествовала субдукция океанской коры под Сарматский континент.

Изучение тектоники и геодинамики платформенного чехла осуществлялось, в основном, в пределах Припятского прогиба, Подлясско-Брестской и Оршанской впадин, а также в целом по всей территории Беларуси.

Применительно к Припятскому прогибу разработаны и опубликованы карты структурного районирования межсолевого и подсолевых нефтегазоносных комплексов масштаба 1:200 000 для решения задач эффективного освоения ресурсов углеводородов (член-корреспондент Р. Е. Айзберг, В. Н. Бескопыльный, Я. Г. Грибик). Основой этих карт является пространственная корреляция нефтеперспективных тектонических элементов – впервые выделенных структурных сбросо-блочных уступов, гребней, террас и подножий.

Исследованы основные черты герцинской синрифтовой геодинамики Припятского прогиба и предложена обобщенная многофакторная модель рифтогенеза юго-востока Беларуси (член-корреспондент Р. Е. Айзберг, Т. А. Старчик) [4].

Основные результаты изучения тектоники и геодинамики Подлясско-Брестской впадины изложены в монографии Г. В. Зиновенко, Р. Г. Гарецкого «Подлясско-Брестская впадина: строение, история развития и полезные ископаемые» (2009). На основе комплекса геолого-геофизических данных установлены соотношения структурных планов горного, нижнебайкальского, верхнебайкальского, каледонского, герцинского и киммерийско-альпийского комплексов, выявлены системы разломов северо-восточного и субширотного простирания. На фоне преимущественного развития сбросовых дислокаций показан взбросовый характер Прибугского разлома. Показано, что основным этапом формирования Подлясско-Брестской впадины был каледонский, когда она развивалась как составная часть юго-западной пассивной окраины Восточно-Европейской платформы вдоль моря Торнквиста и океана Япетус. Закрытие последних сопровождалось тектоническими деформациями платформенного чехла в пределах Подлясско-Брестской впадины [6].

На основе проведенных геофизических работ и небольшого объема бурения уточнены основные черты тектоники поверхности фундамента и основных по мощности дегерцинских комплексов чехла Оршанской впадины (член-корреспондент Р. Е. Айзберг, академик Р. Г. Гарецкий, Я. Г. Грибик, И. Д. Кудрявец, М. А. Нагорный, Т. А. Старчик). Кроме ранее обоснованных Могилевской и Витебской

мульд, Центрально-Оршанского горста выявлены Богушевский горст и Суражское поднятие. Показан сложный характер сочленения Оршанской впадины со структурами субмеридионального Крестцовского и субширотного Гжатского грабенов, а также с Северо-Велижской седловиной, Нелидовским, Усвятским и Ярцевским выступами.

Получены новые фундаментальные результаты изучения разломов, которые отражены в монографии «Разломы земной коры Беларуси» (член-корреспондент Р. Е. Айзберг, академик Р. Г. Гарецкий, академик А. К. Карабанов, Г. И. Каратаев, академик А. В. Матвеев, Я. Г. Грибик и др.). Проведена типизация разломов, дана их характеристика применительно к консолидированной коре, фундаменту, основным этапам развития платформенного чехла [7]. Цикл работ «Разломы и линеаменты земной коры Беларуси: теоретические и прикладные аспекты исследований» был отмечен премией НАН Беларуси в 2009 г.

Региональный тектоно-геодинамический синтез представлен в разработанных и опубликованных тектонической, геодинамической, неотектонической картах Беларуси (академик Р. Г. Гарецкий, член-корреспондент Р. Е. Айзберг, академик А. К. Карабанов и др.). Важное теоретическое и прикладное значение (особенно с учетом строительства Белорусской атомной станции) имело создание карт сейсмического районирования и сейсмотектонической применительно к территории Беларуси и сопредельным областям (А. Г. Аронов, Р. Р. Сероглазов, Т. И. Аронова, член-корреспондент Р. Е. Айзберг, академик Р. Г. Гарецкий, академик А. К. Карабанов). Фундаментальное обоснование принятых подходов к анализу сейсмотектонических и сейсмологических условий региона изложено в коллективных монографиях вышеназванных белорусских ученых и российских геофизиков «Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы» (2007) и «Сейсмотектоника плит древних платформ в области четвертичного оледенения» (2009) [8, 9].

Научные исследования в области неотектоники и неогеодинамики, основоположником которой в Беларуси был профессор Э. А. Левков, развиты за последние 20 лет, главным образом, трудами академика А. К. Карабанова и других геологов. По проекту международной программы геологической корреляции «Неогеодинамика депрессии Балтийского моря и сопредельных областей» (во главе которой стояли геологи Беларуси и Германии) созданы и опубликованы в Германии восемь карт и их монографическая характеристика, отражающие неотектонику и глубинное строение Центральной и Восточной Европы, включая Беларусь (авторы с белорусской стороны – академик Р. Г. Гарецкий, Э. А. Левков, академик А. К. Карабанов, член-корреспондент Р. Е. Айзберг). Результаты фундаментальных исследований проблем неотектоники и неогеодинамики изложены в монографиях А. К. Карабанова, Р. Г. Гарецкого, Р. Е. Айзберга «Неотектоника и неогеодинамика запада Восточно-Европейской платформы» (2009) и «Неотектоника и неогеодинамика Беларуси» (2014) [10–11].

Проведенное изучение неотектонических и неогеодинамических условий территории Беларуси имеет исключительное значение для оценки потенциальных природных естественных рисков, экспертизы при выборе площадей и трасс для строительства сложных инженерных сооружений (энергетических объектов, шахт, трубопроводов и т. д.). В общем, за истекшее 25-летие изучение тектоники и неотектоники перспективных для строительства атомных энергетических объектов осуществлено на территории нескольких десятков отдельных площадей.

Литология, петрология, геохимия. По данным направлениям в 1991–2017 гг. белорусскими геологами получен ряд результатов, имеющих большое научное значение. В кристаллическом фундаменте территории Беларуси выделены и детально охарактеризованы метаморфические стратифицированные, ультратрансформированные и магматические вещественные комплексы, включающие 310 петрографических разновидностей пород. Определена их геохимическая и минерагеническая специализация. Реконструированы эндо- и экзогенные процессы, а также эволюция земной коры в раннем докембрии (Н. В. Аксаментова, Н. В. Найденков, А. М. Пап, Л. Н. Таран, А. А. Толкачкова и др.).

Вычислены средние и средневзвешенные содержания 12 петрогенных оксидов и 20 микроэлементов. Проведено геохимическое районирование и составлена мелкомасштабная геохимическая карта кристаллического фундамента территории Беларуси; выделено 9 геохимических областей и 8 геохимических районов, различающихся по ведущим ассоциациям химических элементов и степени геохимической дифференциации. Установлено, что раннеархейские области имеют преимущественно сидерофильную специализацию с доминирующей ролью элементов группы железа, тогда как в позднеархейских и протерозойских областях большее значение приобретают халькофильные и литофильные элементы. Показано, что большинство рудопроявлений и месторождений приурочено к дифференцированным и высокодифференцированным геохимическим областям.

Выполнены исследования по проблемерудоносности кристаллического фундамента Беларуси; выделены комплексы пород и участки, наиболее перспективные для поисков рудных полезных ископаемых. Детально изучен вещественный состав Оковоловского железорудного месторождения; определена природа руд и вмещающих пород. Уточнено геологическое строение Новоселковского месторождения ильменит-магнетитовых руд, получены исчерпывающие данные об их минеральном составе. Даны литолого-химическая характеристика железисто-кремнистых формаций докембria Восточ-

но-Европейского кратона. Показано место железисто-кремнистых формаций фундамента Беларуси в общем эволюционном ряду железонакопления в докембрии; выделен новый формационный тип – околовский.

Выделено два ведущих типа потенциально-платиноносных формаций – магматический и стратифицированный черносланцевый. Среди магматических комплексов к наиболее перспективным относятся русиновский, кореличский и аргеловщинский. В них впервые обнаружены минералы золота, серебра, платины и палладия (котульскит, мелонит, гессит, ленант, петцит, сперрилит).

Выполнены углубленные исследования петрологии и геохимии пород кристаллического фундамента в пределах отдельных районов, структур и геоструктурных областей. На основе результатов геолого-структурного, петрологического и изотопно-геохронологического изучения реконструирована тектонотермальная история и представлена эволюционная модель формирования земной коры северо-запада Беларуси, включающая последовательность событий во временном интервале между 2,0 и 1,5 млрд лет назад (Л. Н. Таран). Установлено, что посткинематический магматизм возраста около 1,5 млрд лет был завершающим этапом эволюции земной коры в регионе и представлен габбро-диорит-гранодиорит-гранитным комплексом, состав и особенности формирования которого отражают его нижнекоровое происхождение и принадлежность к анортозит-мангерит-чарнокит-гранитной серии.

Охарактеризованы петрологические и минералогические особенности и природа раннедокембрийских гранитоидов Белорусской антеклизы (Ю. С. Булкин). Составлена геохимическая карта кристаллического фундамента Житковичского горста масштаба 1:100 000 (Н. В. Аксаментова). Дано всесторонне описание вещественного состава и происхождения метаморфических и магматических пород крупной архейской геоструктурной области кристаллического фундамента Беларуси – Брагинского гранулитового массива (А. А. Толкачикова). Выделено два этапа регионального метаморфизма. Установлено, что метаморфические породы массива являются гетерогенными образованиями, сформировавшимися из осадочных и вулканогенных отложений морского бассейна. Выделены новые магматические вещественные комплексы – (1) кварцевых диоритов, гранодиоритов и гранитов и (2) мигматит-гранитов.

Получены новые данные о геологическом строении кристаллического фундамента Бобруйской кольцевой структуры (В. В. Солодилова). Здесь в породах габбро-долеритовой и трахидацит-риолитовой формаций обнаружены многие очень редкие акцессорные минералы: самородные, интерметаллиды и природные сплавы. Установлено, что породы Бобруйской кольцевой структуры являются потенциально рудоносными на редкоземельные элементы, медь, олово, свинец, цинк, кобальт, никель, серебро. Детально охарактеризованы литология и геохимия древних разновозрастных кор выветривания, развитых на кристаллическом фундаменте Беларуси, оценены их минерагенические перспективы (Н. Н. Левых). Изданы сборники химических анализов пород и породообразующих минералов, составлен петрографический атлас магматических и метаморфических пород кристаллического фундамента Беларуси (А. А. Архипова, А. А. Толкачикова и др.).

Платформенный чехол. Выделены основные петрографические типы магматических пород трапповой формации венда Беларуси, установлена их геохимическая специфика, проведена петролого-геохимическая реконструкция эволюции базальтовых расплавов и состава мантийных источников в рамках концепции плюм-литосферного взаимодействия (Н. В. Веретенников, О. Ф. Кузьменкова). По результатам детального изучения состава и технологических свойств пород трапповой формации на Полесской седловине проведены геологоразведочные работы, направленные на оценку возможности добычи базальтов как кремнесиликатного сырья и их туфов – в качестве агромелиорантов. Намечены перспективные площади для постановки поисковых работ на самородную медь и цеолиты в базальтовых траппах.

На основании геохимического, петрохимического и петрографического изучения пород девонских трубок взрыва, выявленных в пределах Жлобинской седловины, установлена их классификационная принадлежность, степень и причины разнообразия, оценены глубинность и состав предполагаемого магматического источника (Н. В. Веретенников, А. Г. Лапцевич, Н. Д. Михайлов). Показано, что доминирующими породами трубок взрыва являются ультраосновные фоидиты, щелочные пикриты и мелилититы; кимберлиты и лампроиты в трубках взрыва не представлены.

Дана детальная характеристика постседиментационных изменений отложений всех геологических систем территории Беларуси от рифея до квартера. На этой основе разработан комплекс минеральных индикаторов литогенеза и условий формирования полезных ископаемых в платформенном чехле (академик А. А. Махнач, Л. Ф. Гулис, Н. Д. Михайлов, Г. Д. Стрельцова, В. М. Шиманович, Ник. А. Махнач и др.).

Выполнено систематическое описание проявлений хлоридных и сульфатных минералов в эвaporитовых и неэвапоритовых лиофациях на территории Беларуси. Рассмотрены морфология выделения, условия локализации, закономерности распространения и происхождения галита, сильвина, карналлита, бишофита, кизерита, эпсомита, ангидрита, гипса, целестина, барита, ярозита, рёмерита и ссомольнокита (академик А. А. Махнач, Э. А. Высоцкий, Н. С. Петрова, В. М. Шиманович, Г. Д. Стрельцова и др.).

Построена литолого-гидрогоеохимическая модель Старобинского месторождения калийных солей (В. М. Шиманович и др.). В рамках модели рассмотрены условия формирования галогенных и негалогенных отложений солевой толщи на седиментационной и постседиментационных стадиях, а также механизм образования нижней части надсолевого комплекса, которая является продуктом выщелачивания солей. Данна геохимическая характеристика рудничных вод, включающая анализ их возможных источников, способ идентификации природы водопритоков в шахты, оценку степени их агрессивности по отношению к солям, их типизацию по степени опасности для горных выработок.

Выполнен комплекс оригинальных минералого-петрографических исследований калийных солей Старобинского и Петриковского месторождений, направленных на установление связей в цепочке генезис породы–структура и минералогия–технологические свойства, что позволяет проводить геологоразведочные работы с учетом вариантов технологического передела руды. Составлен петрографический атлас галогенных пород Беларуси (Н. С. Петрова).

Дана сравнительная характеристика верхнедевонских доломитовых пород Припятского прогиба, Северо-Припятского плеча и Оршанской впадины (академик А. А. Махнач, Л. Ф. Гулис, Н. Д. Михайлов, Г. Д. Стрельцова, В. М. Шиманович). Предметом сравнения были текстурно-структурные, минералогические и химические особенности пород, а также изотопный состав кислорода и углерода и химический состав жидких включений в доломитах; представлены модели доломитообразования (доломитизации).

Охарактеризованы литология, минералогия, геохимия и происхождение Заозерного месторождения давсонит-бокситовых руд в каменноугольных отложениях Припятского прогиба (академик А. С. Махнач, Д. Г. Чуйко и др.).

Изучена геохимия рудных минеральных ассоциаций и показано место гидротермального процесса в литогенезе девонских образований Беларуси (Н. Д. Михайлов). Разработана модель распределения редких химических элементов в сланцевосных и угленосных отложениях страны, позволяющая оценить перспективы обнаружения в них значимых редкометальных аккумуляций и содержащая данные, важные для оценки химико-технологических особенностей сланце- и углепереработки (Г. Д. Стрельцова). Исследованы особенности распределения по площади и в разрезе, макрокомпонентный состав и технологические свойства карбоновых и юрских углей Припятского прогиба (Н. С. Яковлева).

Выполнен крупный цикл исследований по геохимии стабильных изотопов углерода, кислорода и серы в платформенном чехле Беларуси, включающий характеристику закономерностей распределения изотопов в разрезе, выявление изотопных сигналов региональных и глобальных палеоклиматических и биотических событий, описание набора разработанных изотопных индикаторов для выполнения палеогеографических и литогенетических реконструкций, определения природы геологических объектов в отложениях широкого стратиграфического диапазона (верхний протерозой, нижний палеозой, девон, карбон, пермь, юра, мел, квартер (академик А. А. Махнач, Ник. А. Махнач и др.). Два проекта, составляющих цикл, были удостоены грантов Международного научного фонда (1994–1995 гг.) и программы ИНТАС-Беларусь (1997–1999 гг.).

Изучены процессы взаимодействия вода–карбонаты и литогеохимические особенности аутогенных карбонатных минералов широкого генетического и возрастного спектра в четвертичных отложениях Беларуси (Ник. А. Махнач). Очерчены гидрогоеохимические предпосылки карбонатообразования. Показана палеоклиматическая и хроностратиграфическая информативность вторичных карбонатов из почв, подпочвенной части моренных и флювиогляциальных отложений, озерных и источниковых залежей. На этой основе выявлен ряд палеоклиматических событий регионального и надрегионального рангов в позднеледниковые и голоцене (В. П. Зерницкая, Ник. А. Махнач). Детально описаны литология, минералогия и особенности формирования делювиальных и солифлюкционных четвертичных отложений Беларуси (Ник. А. Махнач) [12].

Осуществлено всестороннее изучение состава и генезиса ископаемых смол на территории Беларуси и Северной Евразии. Проведено комплексное исследование особенностей формирования, распространения различных видов янтаря с обоснованием перспектив выявления новых залежей ископаемых смол в кайнозойских отложениях Беларуси и северной Евразии (член-корреспондент М. А. Богдасаров) [13].

Выполнен большой цикл геолого-геохимических исследований четвертичных отложений Беларуси экологической направленности (академик А. В. Матвеев, член-корреспондент В. А. Кузнецов, член-корреспондент В. К. Лукашев, В. Е. Бордон, М. П. Оношко и др.). На основании типализации территории Беларуси по особенностям четвертичного разреза охарактеризовано площадное распределение основных породообразующих и микроэлементов, рассчитаны их кларки, выявлены ведущие геохимические ассоциации. Выделены эколого-геохимические аномалии, обосновано районирование территории по степени эколого-геохимического риска (рис. 3). Опубликована монография «Геохимия четвертичных отложений Беларуси» (2013) [14].

Выявлены особенности распределения в четвертичной толще породообразующих и микроэлементов, выделены основные геохимические ассоциации, поисково-геохимические и экологические

геохимические аномалии, выявлены уровни химического загрязнения донных отложений рек и озер (академик А. В. Матвеев, Н. А. Махнач, Н. К. Чертко, В. Е. Бордон, О. В. Лукашев и др.).

Охарактеризованы геохимия озер, речных долин, палеопочв, ландшафтов Белорусского Полесья, распределение техногенных радиоактивных изотопов в этих объектах, экогохимия Минска. В экспериментальных и натурных условиях изучены сорбционные и десорбционные свойства разнофациальных отложений по отношению к радиоизотопам и другим загрязнителям (поллютантам) окружающей среды, что позволило оценить пространственно-временную динамику функционирования геохимических барьеров. Осуществлен значительный комплекс радиомониторинговых работ, выполнено эколого-радиогеохимическое картирование территории, оценена способность ландшафтов к самоочищению от техногенного загрязнения.

Выявлены особенности распределения в четвертичной толще породообразующих и микроэлементов, выделены основные геохимические ассоциации, поисково-геохимические и эколого-геохимические аномалии, выявлены уровни химического загрязнения донных отложений рек и озер (академик А. В. Матвеев, Н. А. Махнач, Н. К. Чертко, В. Е. Бордон, О. В. Лукашев и др.). Предложен новый метод поисков залежей полезных ископаемых, основанный на применении искусственных сорбентов (член-корреспондент В. К. Лукашев).

Гидрогеология. Гидрогеологические исследования в Беларусь в 1991–2017 гг. были сосредоточены в НАН Беларусь, отраслевых институтах (ЦНИИКИВР, РУП «БелНИГРИ» (в настоящее время – «Институт геологии» ГП «НПЦ по геологии»), БелНИЦ «Экология», ОАО «Белгорхимпром», БелНИПИнефть, в БГУ и Гомельском государственном университете, а также в таких производственных организациях, как Белорусская гидрогеологическая экспедиция и трест «Белнефтегазразведка». Тематика этих исследований охватывала широкий диапазон проблем: от региональной и мелиоративной гидрогеологии до геохимии пресных и минеральных подземных вод, от нефтяной гидрогеологии и литогидрогеохимии до динамики подземных вод, геохимии поровых вод и глубинных высокоминерализованных рассолов.

Работа гидрогеологов производственных организаций и, прежде всего, Белорусской гидрогеологической экспедиции, позволила успешно решать вопросы устойчивого хозяйственно-питьевого обеспечения страны пресными подземными водами высокого качества (В. А. Зубок, В. Д. Коркин, Л. П. Зубок, Г. И. Илькевич и др.). Выполнялись разведка, оценка и переоценка запасов пресных подземных вод в районе городов и крупных населенных пунктов, разрабатывались также новые месторождения минеральных подземных вод (А. Н. Панасенко, А. М. Линник, В. М. Кравченко, В. Б. Дорошенко,

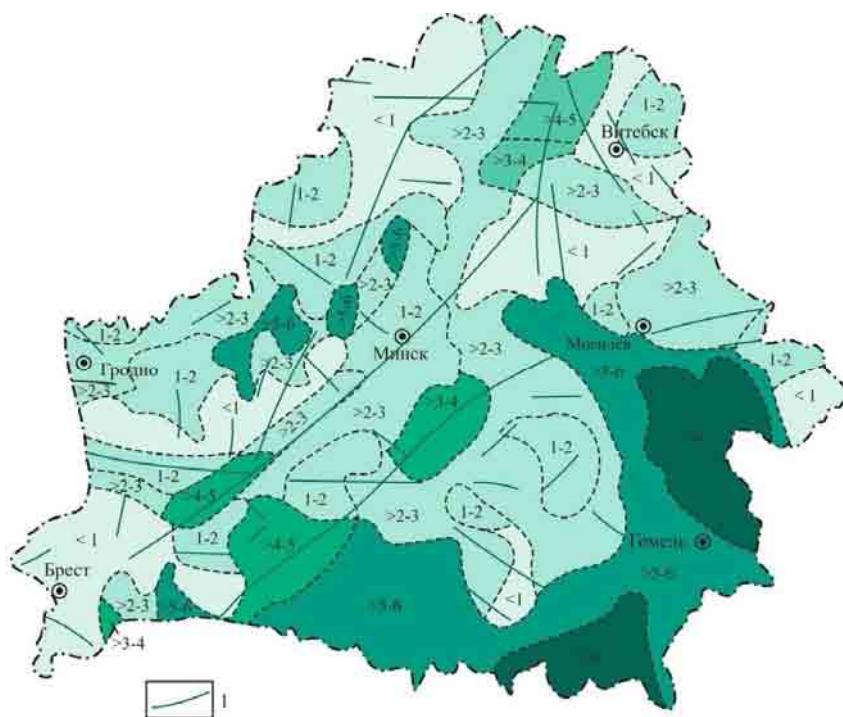


Рис. 3. Карта эколого-геохимического риска:
1 – разломы земной коры

Fig. 3. The map of ecological and geochemical risk:
1 – the fault of earth crust

В. М. Кравжуль, Н. А. Кимбар, М. П. Михадюк, Ю. Т. Залиппа и др.). Выявленные на территории Беларуси запасы пресных подземных вод способны в целом обеспечить все потребности населения и промышленности страны на далекую перспективу, а разведанные месторождения минеральных подземных вод стали надежной минерально-сырьевой базой для санаторно-курортной отрасли и производства в республике бутилированных минеральных вод. Специалистами экспедиции осуществлялось составление гидрогеологических карт различного масштаба, оценка техногенного воздействия на подземные воды в рамках проведения наблюдений за режимом уровней и химического состава подземных вод. Была сохранена и функционирует созданная в предыдущие десятилетия государственная система регионального мониторинга состояния подземных вод (Н. Ф. Авхимович, Г. В. Козаковский, С. И. Волченко). Существенно сократились объемы проведения геолого-гидрогеологических съемок средних масштабов, однако были выполнены геоэкологические съемки территории Беларуси масштаба 1:500 000, а также территории Гомельской, Минской и Брестской областей масштаба 1:200 000 (В. Н. Петров, Л. П. Зубок и др.). В 30-километровой зоне строящейся БелАЭС была проведена комплексная геолого-гидрогеологическая и инженерно-геологическая съемка масштаба 1:50 000 (В. Ф. Моисеенко, А. Н. Авхимович).

Работы в области гидрогеологии, которые проводились специалистами РУП «БелНИГРИ» (в настоящее время – «Институт геологии» ГП «НПЦ по геологии») были связаны с региональными гидрогеологическими исследованиями, нефтяной гидрогеологией, геоэкологическими и мониторинговыми исследованиями пресных и минеральных подземных вод. Была выполнена оценка запасов и прогнозных ресурсов подземных вод, проведена типизация месторождений подземных вод Беларуси, выявлены закономерности формирования эксплуатационных запасов подземных вод различных месторождений, разработаны математические модели подземной гидросферы для крупных городов и Беларуси в целом, а также для Солигорского промрайона (С. П. Гудак, С. С. Белецкий, В. И. Фоменко, К. А. Курило, Б. И. Коробейников и др.); создана автоматизированная информационная система «Государственный водный кадастровый реестр» и электронная база данных «Подземные воды Республики Беларусь» (В. И. Бучурин, К. А. Курило, О. А. Березко, О. В. Васнева); проведены работы по региональному гидрогеологическому картированию, построены карты геоэкологического состояния подземных вод Беларуси, гидрохимические карты основных эксплуатационных водоносных горизонтов, карта минеральных подземных вод и др. (С. П. Гудак, М. В. Фадеева, Р. А. Станкевич, В. М. Шиманович, Б. И. Коробейников, Т. А. Кононова и др.) [15–17]. Осуществлялась разработка гидрогеологических прогнозов нефтегазоносности осадочных комплексов артезианских бассейнов Беларуси (Г. Л. Фурсиков, Л. И. Шаповал и др.). Была выполнена переоценка эксплуатационных запасов подземных вод групповых водозаборов г. Минска, изучено влияние на них антропогенных факторов (О. А. Березко, О. В. Васнева, Д. Г. Илькевич, А. Н. Авхимович и др.).

В Национальной академии наук Беларуси гидрогеологические исследования проводились в Институте геохимии и геофизики и Институте природопользования. Они были направлены на решение таких проблем, как: оценка влияния широкомасштабных осушительных мелиораций Белорусского Полесья на уровеньный режим; баланс и химический состав подземных вод прилегающих территорий, геохимия пресных и минеральных подземных вод; нефтяная гидрогеология и геофлюидодинамика; литогидрохимия; геохимия поровых растворов и глубинных высокоминерализованных подземных рассолов (А. В. Кудельский, А. А. Махнач, В. М. Шиманович, М. Г. Ясовеев, Л. И. Матвеева, О. Н. Шпаков, Т. Д. Кривецкая, В. П. Васильев, В. И. Пашкевич и др.). Была разработана теория верхнемантайно-нижнекорового эксгалакционно-осадочного формирования мощных солевых и калиеносных толщ в условиях высокоактивной вулканической деятельности и синхронного с ней внутририфтового высокотемпературного галогенеза в Припятском прогибе (А. В. Кудельский). Выполнялись прикладные гидроэкологические исследования, связанные с охраной подземных вод на конкретных объектах (водозаборы, карьеры, полигоны хранения отходов, АЗС, промплощадки предприятий и др.). Осуществлялась разработка мероприятий по защите подземных вод от загрязнения и истощения на участках интенсивной хозяйственной деятельности и урбанизированной территории в целом (Н. М. Томина, В. И. Пашкевич, Ю. П. Анцух, О. Г. Савич-Шемет, Е. В. Гапанович). После аварии на Чернобыльской АЭС в зоне радиоактивного загрязнения проводились систематические комплексные исследования радиоэкологического состояния на этой территории подземных и поверхностных вод. Гидрогеологи Национальной академии наук Беларуси принимали активное участие в обосновании выбора места строительства Белорусской АЭС, а также в разработке ОВОС строительства БелАЭС (А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич, Н. М. Томина, О. Г. Савич-Шемет и др.). По материалам этих исследований была опубликована коллективная монография «Подземные воды Островецкого региона» (2012) [18]. Материалы региональных гидрогеологических исследований были обобщены в монографиях «Минеральные воды Беларуси» (1994) [19], «Подземные воды Беларуси» (1996) [20], «Очерки по региональной гидрогеологии Беларуси» (2010) [21], «Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси» (2014) [22]. Они составили также важные разделы в коллективных монографиях «Геология Беларуси» (2001) [1] и «Полезные ископаемые Беларуси» (2002) [23]. В 1998 г. Государственной премией за работу «Открытие и народнохозяйственное использование месторождений минеральных вод в Республике Беларусь (научные исследования, поисково-разведочные работы, меди-

ко-балльно-геологическое и питьевое освоение)» была отмечена группа ученых и специалистов, в том числе гидрогеологи А. В. Кудельский, С. П. Гудак, М. Г. Ясовеев, П. З. Хомич. В 2010 г. коллективом гидрогеологов научных и производственных организаций (А. А. Махнач, А. В. Кудельский, С. П. Гудак, В. Д. Коркин, В. И. Пашкевич, В. М. Шиманович, Б. И. Коробейников, В. А. Зубок, Т. А. Кононова, Л. П. Зубок и др.) была опубликована серия гидрогеологических карт территории Беларуси масштаба 1:500 000, которая включала гидрогеологическую карту четвертичных отложений, карту основных эксплуатационных водоносных горизонтов, гидрохимические карты грунтовых вод и первого от поверхности напорного водоносного горизонта, а также карту минеральных подземных вод [24].

Специалисты-гидрогеологи ЦНИИКИВРа активно работали над проблемами искусственного восполнения запасов подземных вод, взаимодействия подземных и поверхностных вод, влияния водозаборов подземных вод на речной сток, почвы, растительность и другие компоненты окружающей среды Минска, Могилева, Витебска, Гомеля, Бреста. В этом институте было разработано программное обеспечение (Автоматизированные системы «Карьер», «Водозабор», МАС-2000, СПС) и с его использованием выполнено построение сложных математических моделей движения подземных вод. Это позволило осуществить расчет водопритоков в карьеры «Гралево», «Хотиславский», «Минский», разработать прогнозы загрязнения подземных вод в районах полигонов ТКО и других экологически опасных объектов, а также обосновать мероприятия по защите подземных вод от загрязнения (В. С. Усенко, М. М. Черепанский, А. М. Гречко, М. Ю. Калинин и др.).

Гидрогеологические исследования, выполнявшиеся специалистами ОАО «Белгорхимпром», были направлены, прежде всего, на обеспечение безопасной эксплуатации калийных рудников, предотвращение аварийных водопритоков в горные выработки и обоснование методов выделения водозащитных толщ над ними. Выполнялось научное обеспечение бесперебойной работы на Солигорских калийных комбинатах установок по захоронению (закачке) избыточных (отработанных) промышленных рассолов в глубокие водоносные горизонты верхнепротерозойских отложений, осуществлялся постоянный мониторинг уровняенного режима подземных вод на шахтных полях рудников ОАО «Беларуськалий», включая зоны разрывных тектонических нарушений. Была обеспечена разработка исходных гидрогеологических данных (коэффициенты фильтрации, водопроводимость, химический состав и агрессивность подземных вод, прогнозные водопритоки и т. д.) для проектов строительства калийных рудников как в Беларуси (Краснослободской, Березовский, Нежинский, Петровский), так и за рубежом – в России (Гремячинский, Талицкий) и Туркменистане (Гарлыкский) (А. М. Гречко, В. Е. Волков, С. Н. Кацемба, В. А. Панасенко, В. А. Витовец, Е. В. Сытник, Н. Ю. Андрусенко и др.).

В Гомельском государственном университете имени Ф. Скорины была разработана модель формирования пресных подземных вод юго-востока Беларуси, позволяющая решать задачи их рационального использования. На ее основе впервые установлено, что расходование грунтовых вод в гумидных областях путем испарения через зону аэрации по своим масштабам сравнимо с подземным стоком в реки. Доказана важная роль вертикальной составляющей фильтрации подземных вод в водоносных горизонтах слоистых систем слабодренированных территорий и количественно оценена наиболее обеспеченная часть естественных ресурсов подземных вод юго-востока Беларуси (В. Г. Жогло) [25]. Создана система мониторинга подземных вод в районе Гомельского химзавода, включающая режимную сеть скважин, оценку масштабов загрязнения подземных вод, многовариантные прогнозы изменения качества подземных вод на длительную перспективу, гидрогеологическое обоснование управления состоянием подземных вод с целью их охраны от загрязнения и защиты промплощадки химзавода от подтопления (В. Г. Жогло, А. Ф. Акулевич, А. Н. Галкин, В. В. Коцур).

В результате совместных исследований сотрудников Института природопользования НАН Беларуси, Белорусской гидрогеологической экспедиции, БелНИПИнефть, ГГУ имени Ф. Скорины, ВГУ имени П. М. Машерова дана количественная оценка влияния техногенеза и пространственной структуры фильтрационного потока на условия хранения бытовых и промышленных отходов и хозяйственного использования пресных подземных вод Гомельской области. Впервые составлены экологогидродинамические карты грунтового и межпластовых водоносных горизонтов (среднеплейстоценового, палеогенового, среднесеноманского-маастрихтского и альбского-нижнесеноманского), представляющие собой информационно-карографическую основу для принятия управлений решений. На базе усовершенствованных геофильтрационных и геомиграционных моделей выполнен прогноз изменения качественного состояния подземных вод при функционировании экологически опасных объектов различных уровней и назначения, предложен ряд защитных мероприятий от загрязнения верхних горизонтов гидролитосферы в зонах влияния этих объектов (В. Г. Жогло, А. Н. Галкин, А. В. Третьякова, И. А. Красовская).

Проблемы нефтепромысловой гидрогеологии разрабатывались в тресте «Белнефтегазразведка» и в БелНИПИнефть. В результате исследований, проводившихся в тресте «Белнефтегазразведка» были обоснованы гидрогеологические критерии оценки перспектив нефтегазоносности локальных структур Припятского прогиба (П. Г. Альтшулер).

В БелНИПИнефть был разработан комплекс гидрохимических методов анализа и контроля эксплуатации нефтяных месторождений (В. Д. Порошин, В. В. Муляк), создано и внедрено в производство РУП ПО «Белоруснефть» новое научное направление, основу которого составляет геолого-

гидродинамические моделирование разработки залежей нефти в засолоненных карбонатных коллекторах (В. Г. Жогло, Н. А. Демяненко, С. И. Гримус, Н. И. Будник).

Стратиграфия, палеонтология и палеогеография позднего кайнозоя. В изучение стратиграфии палеогеновых и неогеновых отложений, а также палеогеографических условий времени их формирования большой вклад внесли известные белорусские геологи и палеонтологи (С. С. Маныкин, А. Ф. Бурлак, Г. И. Горецкий, Р. А. Зинова, Л. И. Мурашко, Э. А. Левков, Л. Ф. Ажиревич, Н. В. Зайцева, Г. И. Илькевич, Т. В. Якубовская, Т. Б. Рылова, Г. К. Хурсевич, Ф. Ю. Величкевич и др.). В 1990–2010 гг. белорусскими исследователями на основании изучения многочисленных разрезов скважин, вскрывших палеогеновые отложения, а также выявленных комплексов пыльцы и спор, планктонных фораминифер, моллюсков, диатомей, известкового наннопланктона, силикофлагеллят, перидинеевых и зеленых водорослей, акритарх, существенно уточнен возраст и выполнена корреляция морских палеогеновых пород с другими регионами (работы А. Ф. Бурлак, К. Монкевича и др.) Результаты этих работ наряду с новыми геологическими, палинологическими и палеокарологическими данными, характеризующими отложения континентального палеогена (Р. А. Зинова, Л. И. Мурашко, Т. Б. Рылова, Т. В. Якубовская и др.), позволили обосновать новую региональную стратиграфическую схему палеогеновых отложений Беларуси (2010) [26].

В результате комплексных геологических и палеонтологических исследований многочисленных скважин, шурfov и естественных обнажений, вскрывших неогеновые отложения на территории Беларуси, коллективом геологов и палеонтологов разработана новая региональная стратиграфическая схема неогеновых отложений территории Беларуси, которая получила надежное палеонтологическое обоснование (спорово-пыльцевые, флористические и диатомовые комплексы, остракоды, листовая флора) (А. Ф. Ажиревич, Я. И. Аношко, Т. Б. Рылова, Г. К. Хурсевич, Т. В. Якубовская и др.) [26].

Данные, полученные в результате палинологических исследований континентальных олигоценовых и неогеновых отложений Беларуси, позволили выявить палинологические критерии стратиграфического расчленения отложений, дать палинологическое обоснование возраста выделенных горизонтов и выполнить корреляцию с одновозрастными отложениями России, Украины, Польши и Литвы. В основу палиностратиграфии неогеновых отложений Беларуси положены 29 палинокомплексов, из которых 15 имеют региональное значение и позволяют осуществить корреляцию стратиграфических подразделений неогена Беларуси с соседними регионами.

Изучение динамики таксономического состава пыльцы и спор с учетом изменений количественного участия определенных таксонов, с установлением уровней первого появления и исчезновения важнейших таксонов, позволило выявить закономерности эволюции флоры и растительности на территории Беларуси в позднем олигоцене и неогене. Реконструированы растительные сообщества как важнейший компонент палеокосистем и прослежена последовательность их развития. Существенно расширен и уточнен таксономический состав позднеолигоценовой и неогеновой флоры территории Беларуси, описаны пять новых для науки видов. Анализ изменения состава флоры, обусловленный вымиранием и миграцией наиболее термофильных тропических и субтропических элементов флоры и замещением их теплоумеренными и умеренными элементами, носил ритмичный характер и имел тесную связь с глобальными климатическими событиями палеогена и неогена, отражая нарастающее похолодание климата, приведшее к оледенениям плейстоценового времени [27–30].

Большой вклад в разработку и обоснование новой региональной стратиграфической схемы неогеновых отложений внесли данные, полученные в результате многолетних палеокарологических исследований, выполненных Т. В. Якубовской и Ф. Ю. Величкевичем. Все стратиграфические подразделения неогена обоснованы флористическими комплексами [26].

Детальные исследования ископаемых диатомовых водорослей, выполненные Г. К. Хурсевич, позволили доказать биостратиграфическое и палеогеографическое значение разновозрастных диатомовых комплексов неогена. Из миоценовых и плиоценовых отложений Беларуси описаны шесть новых для науки видов и две разновидности [26].

В изучение стратиграфии четвертичных отложений и палеогеографических условий времени их формирования в рассматриваемый период существенный вклад внесли белорусские геологи (А. В. Матвеев, А. К. Карабанов, Г. И. Илькевич, Ник. А. Махнach и др.) и палеонтологи (Т. В. Якубовская, Г. К. Хурсевич, Ф. Ю. Величкевич, Т. Б. Рылова, Я. К. Еловичева, В. П. Зерницкая, А. Н. Мотузко, А. Ф. Санько, Г. И. Литвинюк, Д. Л. Иванов, И. И. Богдель, С. В. Демидова, И. Е. Савченко и др.).

В результате комплексных геологических и палеонтологических исследований, проведенных начиная с 1990-х годов по 2017 г., и на основании уникальных материалов, полученных предыдущими исследователями (М. М. Цапенко, Н. А. Махнach, Г. И. Горецкий, Э. А. Левков, Л. Н. Вознячук, Б. Н. Гурский и др.), были разработаны новые региональные стратиграфические схемы четвертичных (плейстоценовых) и голоценовых отложений территории Беларуси, которые являются научной основой картирования четвертичных отложений при крупномасштабной геологической съемке нового поколения (2010 г.) [26].

По данным палинологических исследований опорных разрезов плейстоцена выполнено биостратиграфическое расчленение всех межледниковых горизонтов (беловежского, могилевского, Александрийского и муравинского), а также начальных и заключительных фаз ледниковых эпох на ряд ре-

гиональных пыльцевых зон, которые служат основой для их корреляции с одновозрастными отложениями соседних регионов [31, 32]. Наряду с пыльцевыми зонами, выделенные стратиграфические подразделения охарактеризованы флористическими, диатомовыми, палеотериологическими, малакологическими и другими комплексами.

В основу новой стратиграфической схемы позднеледниковых и голоценовых отложений положены результаты микроскопических исследований и анализа закономерностей строения разрезов [12, 26, 33]. Новая схема обоснована комплексом палеоботанических и палеофаунистических методов. Хронология выделенных региональных пыльцевых зон базируется на данных радиоуглеродного датирования отложений и исследованиях стабильных изотопов кислорода, которые отражают глобальные климатические изменения, установленные в изотопно-кислородных кривых ледниковых кернов Гренландии [34, 35].

На основе выявленных закономерностей и региональных особенностей изменения состава спорово-пыльцевых спектров реконструированы последовательные фазы развития растительности всех межледниковых интервалов плейстоцена Беларуси (всего 27 фаз) а также начальных и заключительных этапов наревской, березинской, притпятской и начала поозерской ледниковых эпох (всего 21 фаза) [36–38].

Детальное изучение таксономического состава палинофлоры и его изменений на протяжении межледниковых интервалов плейстоцена и голоцена позволили выполнить реконструкцию палеотемператур для всех фаз беловежского, могилевского, Александрийского и муравинского межледниковых плейстоценов [39, 40], а также голоцена [41, 42] и разработать модель возможных вариантов изменения растительности Беларуси при развитии природного процесса в сторону похолодания либо потепления климата.

Палинологами Института природопользования НАН Беларуси создан атлас, включающий более 200 изопольных карт, иллюстрирующих распространение лесообразующих пород на территории Беларуси на протяжении муравинского межледникового периода, ранне- и позднепоозерского времени и голоцена, который может быть использован при обосновании прогноза развития растительности и особенностей распространения отдельных лесообразующих пород на территории Беларуси при усилении техногенной нагрузки в условиях глобального потепления климата (рис. 4).

В результате выполненных детальных палинологических исследований растительности, климата, динамики природных зон Беларуси в позднем плейстоцене и голоцене построена схема, отражающая изменения климата, развитие растительности и динамику природных зон на территории Беларуси в позднем плейстоцене и голоцене (рис. 5).

Минерагения. Эффективность поисков новых месторождений полезных ископаемых находится в прямой зависимости от знаний об условиях их формирования, определяемых минерагенией – наукой о происхождении месторождений полезных ископаемых.

Применительно к проблеме рудоносности и формированию месторождений рудных полезных ископаемых проведены металлогенические исследования кристаллического фундамента Беларуси. Детально разведано Оковское железорудное месторождение и уточнено геологическое строение Новоселковского месторождения ильменит-магнетитовых руд. Изучен вещественный состав, определена природа руд и вмещающих пород.

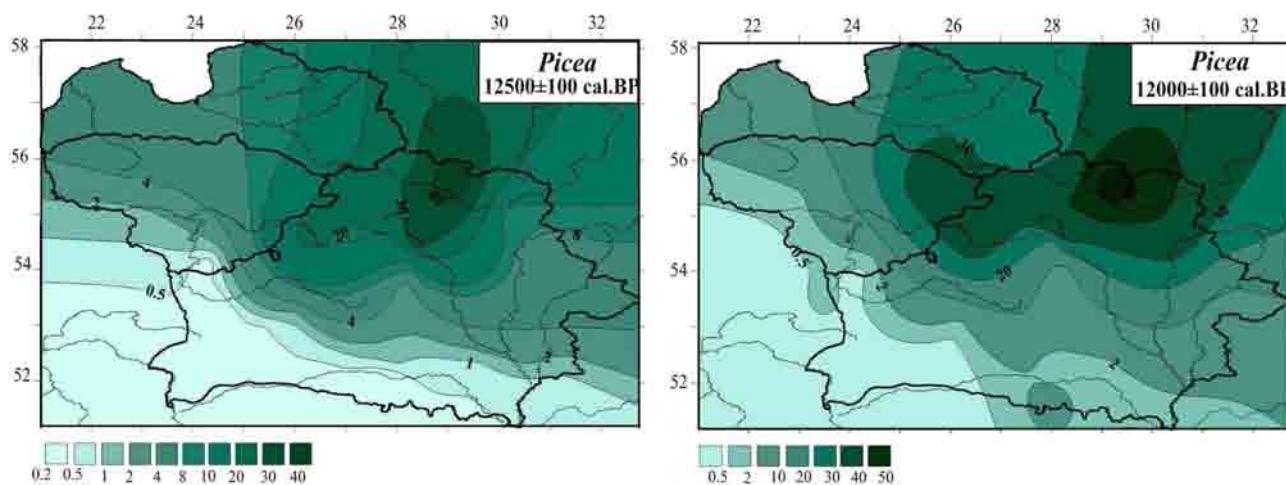


Рис. 4. Пример построения изопольных карт по временным срезам для ели (*Picea*)

Fig. 4. The example of isopole maps formation on temporary shearings for *Picea*

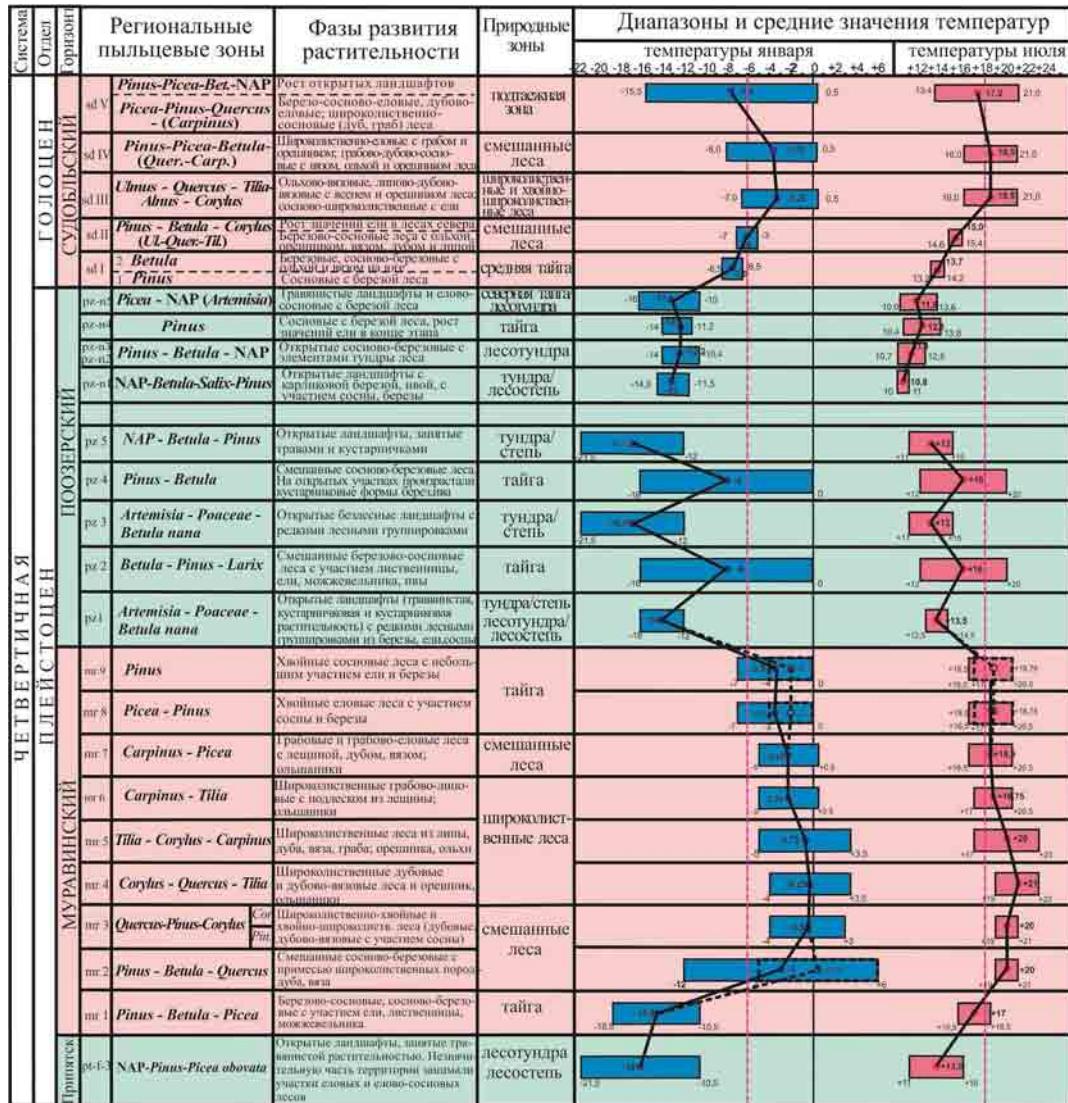


Рис. 5. Схема изменения климата, развития растительности и динамики природных зон на территории Беларуси в позднем плейстоцене и голоцене

Fig. 5. The scheme of climate change, vegetation development and the dynamics of nature zones on the territory of Belarus in late Pleistocene and Holocene

Специалистами Института природопользования систематически проводилась научная экспертиза проектов освоения разведанных месторождений полезных ископаемых (железных руд, бурых углей, горючих сланцев, гипса, бериллиево-редкоземельных руд и др.), разработан аванпроект освоения Оковловского железорудного месторождения, подготовлены рекомендации по повышению эффективности использования минерально-сырьевых ресурсов, стратегическим направлениям развития геологической науки.

Изучена минерагения ископаемых солей Старобинского и Петриковского месторождений. За истекшее двадцатипятилетие основное внимание в соляной геологии – одном из стратегических направлений научных исследований, обеспечивающих экономическое развитие Беларуси – было сконцентрировано на решении проблем калийного рудогенеза в галогенных формациях хлоридного типа (Н. С. Петрова, Э. А. Высоцкий, В. З. Кислик и др.). В этих исследованиях В. З. Кисликом и Н. С. Петровой была сформулирована концепция базы данных «Калий», включающая аналитические данные по качественным параметрам и строению калийных залежей разного типа (фактографическая и графическая-визуализированная информация), и последовательно осуществлялась ее актуализация. Разработаны многофакторные геолого-генетические модели калийных залежей красноцветной (старобинский тип) и пестроцветной (петриковский тип) гиперсолянных ассоциаций хлоридных галогенных формаций, обосновывающие стадийность развития калийного рудогенеза и роль карналита при формировании калийных горизонтов. Совместно с технологами разработана методика про-

ведения минералогического контроля технологических проб при создании концепции многоцелевого использования прогнозно-технологической оценки калийных солей в галогенных формациях хлоридного типа, которая использована при технологических исследованиях руд Припятского калийносного бассейна и различных площадей в России Верхнекамского и Гремячинского месторождений и др. Эта методика является частью разрабатываемой экспрессной оценки минерального сырья на ранних стадиях геологического изучения, которая определяет набор и последовательность операций технологического тестирования калийных руд.

Исследования минерагении каустобиолитов направлены на изучение условий формирования месторождений горючих полезных ископаемых (нефть, газ, уголь, горючие сланцы, торф).

Нефтегазовая геология. Из установленных в Беларуси осадочных бассейнов только Припятский бассейн является нефтегазоносным бассейном НГБ) с 82 месторождениями нефти и 2 месторождениями нефтегазоконденсата. Осадочные бассейны, приуроченные к Оршанской и Подляйско-Брестской впадинам характеризуются как возможно нефтеносные, в пределах которых в настоящее время выполняются региональные геолого-геофизические исследования для оценки возможного минерагенического углеводородного потенциала.

В Припятском НГБ с 1991 г. выявлено 30 месторождений нефти с залежами в межсолевом, подсолевом карбонатном, терригенном, верхнесоленосном комплексах (З. Л. Познякович, В. А. Богино, А. Ф. Савченко и др.). Общий углеводородный ресурсный потенциал Припятского прогиба по состоянию на 01.01.2017 г. оценивается в количестве 350,2 млн т.

Разведанные запасы нефти промышленных категорий на выявленных месторождениях при годовой добыче нефти 1,645 млн т обеспечивают добычу на протяжении около 30 лет. Разведенность 51 % начальных потенциальных ресурсов нефти Припятского НГБ свидетельствует о реальном потенциале выявления новых залежей углеводородов. В свете этого составленные в 2011 г. карты структурного районирования подсолевого и межсолевого комплексов Припятского прогиба направлены на решение задач эффективного освоения ресурсов углеводородов (В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик). Методологической основой представленного районирования межсолевого и подсолевого комплексов явилась новая модель структурной делимости Припятского прогиба в соответствии с тектонической приуроченностью в пределах ступеней с выделением зон: структурных гребней, террас, подножий ступеней и сбросо-блоковых уступов.

В целом в Припятском прогибе на составленных картах структурного районирования выделено 110 основных зон локальных поднятий (63 – в подсолевых отложениях, 47 – в межсолевых). По результатам комплексного анализа установлено, что во всех частях ступеней имеются продуктивные зоны локальных поднятий. На каждой ступени следует оценивать перспективы нефтегазоносности (искать залежи нефти) в пределах любой части ступени. Наибольшая доля продуктивных зон поднятий (наивысший коэффициент продуктивности структурных форм) и максимальная насыщенность горных пород углеводородами (наиболее крупные залежи нефти) характерны гребням ступеней, затем следуют уступы и далее – террасы. Меньше всего открытых продуктивных зон поднятий в подножьях ступеней (В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик).

Выполненное районирование перспективных комплексов Припятского прогиба по условиям генерации углеводородов и условиям формирования залежей углеводородов на базе новых обособленных элементов. Этот комплекс исследований позволил выявить участки, перспективные для формирования традиционных и нетрадиционных (связанных с низкоемкими коллекторами) залежей углеводородов (В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик, Е. Ф. Никуленко, Б. А. Дубинин).

Прогнозный минерагенический углеводородный потенциал Беларуси в последние годы существенно пополнился нетрадиционными залежами углеводородов, к которым относятся залежи, приуроченные к низкоемким коллекторам, залежи с высоковязкими нефтями, участки с битумонасыщенными породами.

В низкопроницаемых породах (полуколлекторах) Припятского прогиба прогнозируются нетрадиционные (или комбинированные) объекты освоения углеводородов. Специальными пробуренными горизонтальными скважинами № 310g и 292g в низкоемких пластах межсолевого комплекса на Речицком месторождении доказана возможность перевода запасов нефти в балансовые с последующим их освоением. Освоение ресурсов такого типа РУП «ПО «Белоруснефть» выполнено по горизонтальной части ствола с многостадийным (5–7 портов) гидроразрывом пласта и освоением (В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Б. А. Дубинин, А. В. Халецкий).

Выполненные в 2010–2015 гг. БелНИПИнефть РУП «ПО «Белоруснефть» опытные работы по освоению нетрадиционных залежей нефти на Северо-Домановичском месторождении созданием сети глубокопроникающих радиальных каналов фильтрации позволили увеличить дебит нефти почти в 4,0 раза. Технология упрощает процесс освоения залежей нефти в низкоемких и непроницаемых пластах путем создания удаленных до 100 м фильтрационных каналов по горизонту нефтенасыщенного пласта для добычи нефти (Н. А. Демяненко, П. П. Повжик, А. В. Серебренников, А. В. Халецкий и др.).

Прогнозируется в перспективе увеличение ресурсного потенциала недр Беларуси, установление проявлений нетрадиционного углеводородного сырья в виде газогидратов, в битуминозной брекчии соляных куполов Припятского прогиба (Я. Г. Грибик).

Группой ученых Института природопользования с участием заведующего лабораторией тектоники и геофизики Я. Г. Грибика и члена-корреспондента Р. Е. Айзберга определены критерии поисков нетрадиционных источников углеводородного сырья (сланцевый газ, сланцевая нефть), определено приоритетное направление геологоразведочных работ в осадочных бассейнах Беларуси с выделением тестовых полигонов отработки технологий геологического изучения перспектив углеводородного потенциала. Доказано: определены критерии поисков нетрадиционных источников углеводородного сырья (сланцевый газ, сланцевая нефть), выполнено нефтегеологическое районирование Припятского прогиба, являющееся основой выделения первоочередных объектов геологоразведочных работ на поиски месторождений нефти и газа; дано обоснование заложения глубокой (2500 м) поисковой скважины на нефть «Ковчицкая 4», доказано существование первого в Южной части Припятского прогиба Познякевичского месторождения нефти нетрадиционного типа с запасами до 150 тыс. т, в том числе нефти нетрадиционного типа – 50 тыс. т [43].

Оценка ресурсного минерагенического углеводородного потенциала в Припятском прогибе выполняется также в районах с максимальной мощностью осадочного чехла. В 2013–2015 гг. РУП «ПО «Белоруснефть» пробурена на Предречицкой площади самая глубокая в Беларуси параметрическая скважина 1 глубиной 6755 м. Скважиной вскрыт весь разрез осадочного чехла Припятского прогиба от кайнозойских до пород кристаллического фундамента. Вскрытый разрез в межсолевом и подсолевом терригенных комплексах характеризуется отсутствием пластов-коллекторов. Из семилукского горизонта подсолевого карбонатного комплекса из интервала 6477–6499 м получен приток пластовой воды дебитом около 1 см³/сут. Максимально зафиксирована температура 136 °С на глубине 6479,5 м.

Работа по оценке ресурсного углеводородного потенциала верхнепротерозойских и палеозойских комплексов Беларуси и Сибири в 2004 г. решением Сибирского отделения РАН и НАН Беларуси отмечена премией имени академика В. А. Коптюга в авторском коллективе белорусских (Р. Е. Айзберг, В. Н. Бескопыльный, Р. Г. Гарецкий, Я. Г. Грибик, А. В. Кудельский, В. А. Москвич, С. М. Обровец) и российских ученых (Н. П. Запивалов, В. А. Каштанов, Г. С. Фрадкин).

В свете поиска альтернативных энергетических источников геологической службой Беларуси выполняются исследования геотермического потенциала Беларуси. Определена оценка теплового потока отдельных регионов республики, составлены карты распределения температур на разных глубинах с определением более высокой геотермической напряженности недр южной части Беларуси в обобщенной сводке по геотермии В. И. Зуя (2013 г.) и В. Г. Левашкевича (2013 г.). В 2018 г. издан Геотермический атлас Беларуси под общей редакцией В. И. Зуя. Результаты полученных исследований находят применение в практике. В 2008 г. по проекту совмещения геологических и геотермических задач в пригороде Бреста пробурена параметрическая скважина Вычулковская 201 до глубины 1520 м со вскрытием кристаллического фундамента (Я. Г. Грибик, В. И. Зуй, С. И. Жидович). После геологического изучения разреза ствол скважины в интервале 100–1520 м ликвидирован, а верхняя часть скважины используется для отбора пресной воды с температурой на устье +25 °С для обогрева теплиц Тепличного комбината «Берестье».

Сотрудники лаборатории геотектоники и геофизики Института природопользования под руководством профессора Г. И. Каракаева (О. В. Мясников, П. А. Шаблыко) в течение нескольких лет участвуют в проведении полевых исследований в районе горы Вечерняя в Восточной Антарктиде. Во время экспедиционных работ были проведены гравиметрические и магнитометрические измерения по четырем маршрутам, отобрано 88 образцов горных пород. По полученным данным построены графики вариаций магнитного поля, определены петрографические и петрофизические свойства пород, составлена геологическая карта и намечены наиболее перспективные участки для выявления месторождений полезных ископаемых.

Современные геологические процессы, геэкология. Специалистами Института природопользования НАН Беларуси и Института радиобиологии НАН Беларуси проведено комплексное исследование содержания радона в почвенном воздухе территории нашей страны (академик А. В. Матвеев, академик А. К. Карабанов, М. И. Автушко). Группой специалистов Объединенного института энергетических и ядерных исследований – Сосны НАН Беларуси (О. И. Ярошевич, И. В. Жук, Л. Л. Васильевский, Ж. А. Лукашевич, М. И. Конопелько и др.), Института радиобиологии НАН Беларуси, Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, Республиканского научно-практического центра радиационной медицины и экологии человека (Л. А. Чунихин, Д. Н. Дроздов, А. Л. Чеховский и др.) выполнено многолетнее исследование содержания радона в воздухе жилых и производственных помещений в населенных пунктах всех административных областей и районов Беларуси. В результате этих работ выявлены основные особенности распределения концентраций радона в почвенном воздухе и воздухе жилых и производственных помещений. Изучена экогеохимия радона; выполнено районирование территории Беларуси по степени радоновой опасности, показана связь радоновых и других газово-геохимических аномалий с геологическим строением и активными разломами (академик А. В. Матвеев и др.). В 2017 г. издана монография «Радон в геологических комплексах Беларуси» [44]. Установлено, что значительная часть территории Беларуси относится к по-

тенцициально опасным по содержанию радона в почвенном воздухе и в воздухе помещений, составлена карта радионового риска.

Детально исследовались процессы современного преобразования земной поверхности, выполнены их классификации, оценена интенсивность (академик А. В. Матвеев, И. А. Павловский, Л. А. Нечипоренко, Н. Ф. Гречаник, Ник. А. Махнач, В. М. Широков, С. Ф. Савчик) [1, 36, 45, 46]. Эти исследования позволили установить, что при определенных условиях процессы современного морфогенеза могут достигать такой интенсивности, при которых происходят деформации природных комплексов и инженерных сооружений, снижается плодородие почв, ухудшается геоэкологическая обстановка и ухудшается здоровье населения. Подобные процессы отнесены к категории природных и природно-антропогенных опасностей и рисков. С учетом их возможного проявления выполняется районирование территории страны по степени благоприятности для проживания населения (академик А. В. Матвеев) (рис. 6).

В последние годы одним из наиболее востребованных направлений геоэкологических исследований были работы по оценке уровня загрязнения земель (почв и грунтов) и подземных вод тяжелыми металлами, нефтепродуктами и некоторыми другими специфическими для конкретных территорий веществами (микрорайон «Минск–Мир», Минская птицефабрика имени Н. К. Крупской, микрорайон «Лебяжий», Могилевский завод искусственного волокна и завод «Белмедпрепараты» в Минске).

В 2017 г. завершен крупный проект, финансируемый из бюджета Союзного государства, – «Экспертная система реабилитации геологической среды, загрязненной нефтепродуктами, на основе принципов самоорганизации для территорий государства – участников СНГ». Цель проекта – создать экспертную систему, способную спрогнозировать последствия аварийных разливов нефти и нефтепродуктов, связанных с загрязнением компонентов геологической среды (почв, грунтов зоны аэрации и подземных вод), и разработать план мероприятий по ликвидации такого загрязнения. При участии группы сотрудников Института природопользования под руководством Н. М. Томиной была разработана архитектура экспертной системы, алгоритм аналитических решений по миграции нефтепродуктового загрязнения, созданы базы данных по соответствующим разделам ЭС (физико-

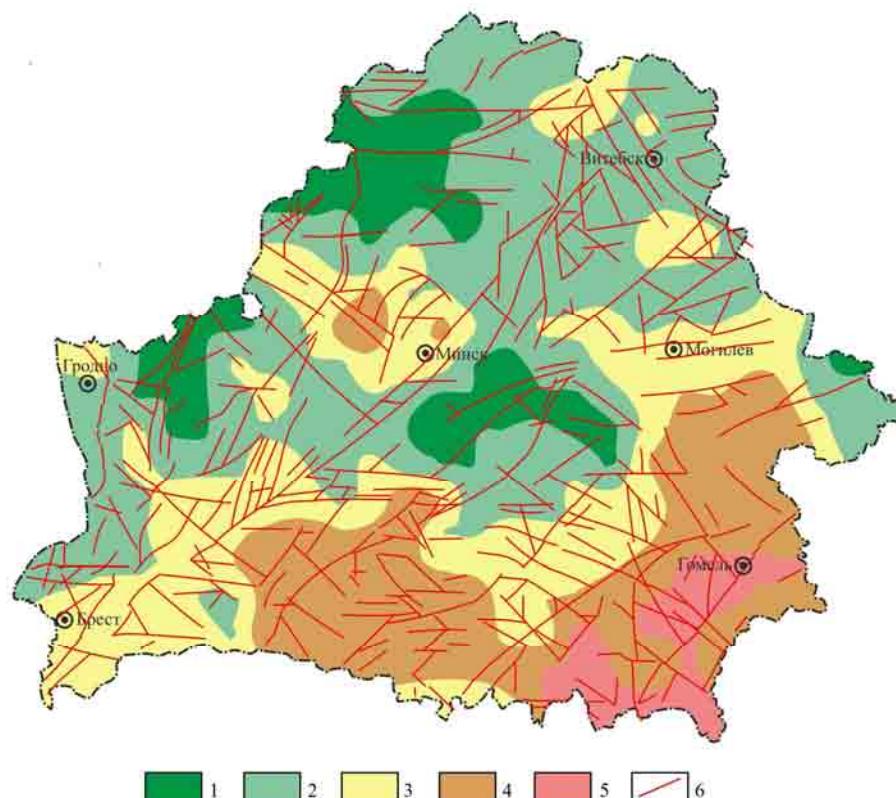


Рис. 6. Районирование территории Беларуси по степени благоприятности
(1 – высокая, 2 – относительно высокая, 3 – средняя, 4 – умеренная, 5 – низкая,
6 – низкая в зонах активных разломов) для проживания населения

Fig. 6. The zoning of the territory of Belarus by the degree of favorableness for habitation:
1 – high, 2 – relatively high, 3 – average, 4 – mild, 5 – low, 6 – low in the zones of active fault

химическим свойствам углеводородных загрязняющих веществ; свойствам компонентов геологической, определяющим миграцию загрязнения, потенциально опасным техногенным объектам нефтепродуктообеспечения на территории Республики Беларусь) и картографический материал. На завершающем этапе разработки экспертной системы проведены тестовые испытания на разработанных ситуационных моделях (тестовых участках) формирования нефтепродуктового загрязнения геологической среды для проверки адекватности функционирования созданного прототипа программного обеспечения.

По договорам с ОАО «Газпромтрансгаз Беларусь» выполняются систематические работы по проведению геоэкологического мониторинга на Мозырском, Осиповичском, Прибугском подземных хранилищах газа (А. С. Глаз, В. Г. Левашкевич).

Список использованных источников

1. Геология Беларуси / под ред. А. С. Махнача, Р. Г. Гарецкого, А. В. Матвеева. – Минск, 2001. – 815 с.
2. Гарецкий, Р. Г. Шовные зоны Фенноскандии, Сарматии и Волго-Ураллии / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев. – Минск, 2014. – 162 с.
3. 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. – Гомель ; Минск, 2014.
4. Айзберг, Р. Е. Синиритовая геодинамика Припятского прогиба / Р. Е. Айзберг, Т. А. Старчик. – Минск, 2013. – 146 с.
5. Районирование по условиям нефтегазообразования подсолевого и межсолевого комплексов Припятского нефтегазоносного бассейна / В. Н. Бескопыльный [и др.]. – Гомель – Минск, 2013. – 184 с.
6. Зиновенко, Г. В. Подлясско-Брестская впадина: строение, история развития и полезные ископаемые / Г. В. Зиновенко, Р. Г. Гарецкий. – Минск, 2009. – 142 с.
7. Разломы земной коры Беларуси / под ред. Р. Е. Айзберга– Минск, 2007. – 372 с.
8. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Щукина. Кн. 1: Землетрясения. – Петрозаводск, 2007. – 381 с.
9. Сейсмотектоника древних платформ в области четвертичного оледенения / под ред. Р. Г. Гарецкого, С. А. Несмиянова. – М., 2009. – 288 с.
10. Карабанов, А. К. Неотектоника и неогеодинамика запада Восточно-Европейской платформы / А. К. Карабанов, Р. Г. Гарецкий, Р. Е. Айзберг. – Минск, 2009. – 183 с.
11. Карабанов, А. К. Неотектоника и неогеодинамика Беларуси / А. К. Карабанов, Р. Г. Гарецкий, Р. Е. Айзберг. – Saarbrucken, 2014. – 252 р.
12. Махнac, Ник. А. Аутигенные карбонатные минералы в четвертичных отложениях Беларуси / Ник. А. Махнac. – Минск, 2007. – 215 с.
13. Богдасаров, М. А. Янтарь и другие ископаемые смолы Евразии/ М. А. Богдасаров. – Брест, 2010. – 263 с.
14. Матвеев, А. В. Геохимия четвертичных отложений Беларуси / А. В. Матвеев, В. Е. Бордон. – Минск, 2013. – 191 с.
15. Станкевич, Р. А. Минское месторождение глубоких артезианских вод / Р. А. Станкевич. – Минск, 1997. – 87 с.
16. Гудак, С. П. Минеральные и промышленные воды Республики Беларусь: Обзорная информация / С. П. Гудак, Л. И. Шаповал, Г. Л. Фурсиков. – Минск, 1992. – 64 с.
17. Курило, К. А. Прогноз обеспеченности Беларуси запасами пресных подземных вод на перспективу / К. А. Курило // Природные ресурсы. – 2000. – № 4. – С. 34–46.
18. Подземные воды Островецкого региона Беларуси / А. В. Кудельский [и др.]. – Минск, 2012. – 101 с.
19. Кудельский, А. В. Минеральные воды Беларуси / А. В. Кудельский, М. Г. Ясовеев. – Минск, 1994. – 280 с.
20. Кудельский, А. В. Подземные воды Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич, М. Г. Ясовеев. – Минск, 1998. – 260 с.
21. Кудельский, А. В. Очерки по региональной гидрогеологии Беларуси / А. В. Кудельский. – Минск, 2010. – 192 с.
22. Кудельский, А. В. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич. – Минск, 2014. – 271 с.
23. Полезные ископаемые Беларуси / редкол.: П. З. Хомич [и др.]. – Минск, 2002. – 528 с.
24. Гидрогеологические карты территории Беларуси м-ба 1:500 000 / редкол.: А. А. Махнac [и др.]. – Минск, 2010.
25. Жогло, В. Г. Система численных геофiltрационных моделей верхнего этажа гидролитосферы юго-востока Республики Беларусь / В. Г. Жогло. – Минск, 2001. – 176 с.
26. Стратиграфические схемы докембрийских и фанерозойских отложений Беларуси : объяснительная записка / С. А. Кручек [и др.]. – Минск, 2010. – 282 с.
27. Якубовская, Т. В. Позднекайнозойские флоры района проявления неогенового карста в окрестностях Березы / Т. В. Якубовская, Т. Б. Рылова // Флора и фауна кайнозоя Белоруссии. – 1992. – С. 11–22.
28. Рылова, Т. Б. Позднеолигоценовые палинофлоры Беларуси / Т. Б. Рылова // Літасфера. – 1996. – № 5. – С. 43–58.

29. Рылова, Т. Б. Особенности эволюции палинофлоры Беларуси в конце палеогена и неогене / Т. Б. Рылова // Доклады Нац. акад. наук Беларуси. – 2001. – Т. 45, № 1. – С. 96–100.
30. Рылова, Т. Б. Эволюция растительности и климата Беларуси в позднем олигоцене и миоцене / Т. Б. Рылова // Доклады Нац. акад. наук Беларуси. – 2001. – Т. 45, № 3. – С. 95–99.
31. Рылова, Т. Б. Палинотретиграфия, растительность и климат древнейших межледниковых интервалов гляциоплейстоцена Беларуси / Т. Б. Рылова, И. Е. Савченко // Материалы V польско-белорусского семинара. – Варшава, 2007. – С. 21–29.
32. Межрегиональная корреляция верхнеприпятских (Upper Wartanian), муравинских (Eemian) и нижнепозерских (Lower Vistulian) пыльцевых зон Беларуси и Польши / Т. Б. Рылова [и др.] // Литасфера. – 2008. – № 1 (28). – С. 64–75.
33. Зерницкая, В. П. Этапы осадконакопления в позднеледниковые и голоцене на территории Беларуси / В. П. Зерницкая, А. В. Матвеев // Проблемы природопользования: итоги и перспективы: материалы Междунар. науч. конф., Минск, 21–23 нояб. 2012 г. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, БРФФИ; А. К. Карабанов (отв. ред.). – Минск : Минсктиппроект, 2012. – С. 287–294.
34. Stable oxygen and carbon isotopes in Late Glacial-Holocene freshwater carbonates from Belarus and their palaeoclimatic implications / N. Makhnach [et al.] // Journal Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. – 2004. – N 209. – P. 73–101.
35. Махнач, Ник. А. Климатические изменения в позднеледниковые – голоцене Беларуси (по данным изотопно-геохимического исследования аутигенного озерного кальцита) / Ник. А. Махнач, В. П. Зерницкая // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2010. – № 2.– С. 81–94.
36. Палеогеография кайнозоя Беларуси / Ф. Ю. Величкович [и др.]. – Минск, 2002. – 163 с.
37. Рылова, Т. Б. Растительность и климат межледниковых интервалов плейстоцена Беларуси по данным палинологических исследований / Т. Б. Рылова, И. Е. Савченко // Литасфера. – № 1 (24). – 2006. – С. 12–26.
38. Рылова, Т. Б. Александрийское межледниковые Беларуси по данным палинологических исследований / Т. Б. Рылова, И. Е. Савченко // Литасфера. – № 1 (34). – 2011. – С. 54–68.
39. Рылова, Т. Б. Реконструкция палеотемператур беловежского и могилевского межледниковых Беларуси / Т. Б. Рылова, И. Е. Савченко // Доклады Нац. акад. наук Беларуси. – 2004. – Т. 48, № 4. – С. 87–91.
40. Растительность и климат Беларуси и Польши в позднеприпятское (поздняя одра), муравинское (ээм) и раннепозерское (ранний вистулиан) время / Т. Б. Рылова [и др.] // Литасфера. – 2013. – № 2 (39). – С. 3–24.
41. Veski, S. Quantitative summer and winter temperature reconstructions from pollen and chironomid data between 16–8 ka in the Baltic–Belarus area / S. Veski [et al.] // J. Quaternary International. – 2015. – Vol. 388. – P. 4–11.
42. Зерницкая, В. П. Реконструкция климата Беларуси в позднеледниковые и голоцене / В. П. Зерницкая, Е. Ю. Новенко // Наука и инновации. – 2016. – № 9. – С. 21–24.
43. Грибик, Я. Г. Перспективы освоения ресурсного потенциала нетрадиционного углеводородного сырья Беларуси / Я. Г. Грибик // Литасфера. – 2014. – № 2 (41). – С. 9–16.
44. Матвеев, А. В. Радон в геологических комплексах Беларуси / А. В. Матвеев, А. К. Карабанов, М.И. Автушко. – Минск, 2017. – 136 с.
45. Мацвеёў, А. В. Пра рэльеф Беларуси / А. В. Мацвеёў, В. П. Якушка. – Мінск, 1994. – 72 с.
46. Павловская, И. Э. Полоцкий ледниково-озерный бассейн: строение, рельеф, история развития / И. Э. Павловская. – Минск, 1994. – 127 с.

References

1. *Geologiya Belarusi*; pod red. A. S. Mahnacha, R. G. Gareckogo, A. V. Matveeva [Geology of Belarus; edited by A. S. Mahnach, R. G. Gareckij, A. V. Matveev]. Minsk, 2001, 815 p.
2. Gareckij R. G., Karataev G. I. *Shovnye zony Fennoskandii, Sarmatii i Volgo-Uralii* [Suture Zones of Fennoscandia, Sarmatia and Volga-Urals]. Minsk, 2014, 162 p.
3. Beskopl'nyj V. N., Ajzberg R. E., Gribik Ya. G., Dubinin B. A. *Karta rajonirovaniya mezhsolevogo kompleksa Pripyatskogo neftegazonosnogo bassejna po usloviyam formirovaniya zalezhej uglevodorodov* [The Map of the Zoning of the Inter-salt Complex of Prypjat Oil and Gas Bearing Basin by the Conditions of Carbon Deposits Forming]. M 1:200 000. Gomel', Minsk, 2014.
4. Ajzberg R. E., Starchik T. A. *Sinriftovaya geodinamika Pripyatskogo progiba* [The Syncritical Geodynamics of Prypjat Flexure]. Minsk, 2013, 146 p.
5. Beskopl'nyj V. N., Nikulenko L. F., Ajzberg R. E., Gribik Ya. G. *Rajonirovanie po usloviyam neftegazoobrazovaniya podsolevogo i mezhsolevogo kompleksov Pripyatskogo neftegazonosnogo bassejna* [Zoning by the Conditions of the Oil and Gas Formation of the Subsalt and Inter-salt Complexes of Prypjat Oil and Gas Bearing Basin]. Gomel', Minsk, 2013, 184 p.
6. Zinovenko G. V., Gareckij R. G. *Podlyassko-Brestskaya vpadina: stroenie, istoriya razvitiya i poleznye iskopаемые* [Podlaskie Brest Depression: Structure, the History of Development and Nature Resources]. Minsk, 2009, 142 p.
7. *Razlomy zemnoj kory Belarusi* [The Faults of the Earth Crust of Belarus], pod red. Ajzberga R. E. Minsk, 2007, 372 p.
8. *Zemletrjasenija i mikrosejsmichnost' v zadachah sovremennoj geodinamiki Vostochno-Evropejskoj platformy* [Earthquakes and microseismity in the tasks of the modern geodynamics of Eastern and European platform] pod red. N. V. Sharova, A. A. Malovichko, Ju. K. Shhukina. Kniga 1: Zemletrjasenija. Petrozavodsk, 2007, 381 p.
9. *Seismotektonika drevnih platform v oblasti chetvertichnogo oledeneniya*; pod red. R. G. Gareckogo, S. A. Nesmeyanova [The Seismotectonics of Ancient Slabs in the Area of Quaternary Glaciation]. Moscow, 2009, 288 p.
10. Karabanov A. K., Gareckij R. G., Ajzberg R. G. *Neotektonika i neogeodinamika zapada Vostochno-Evropejskoj platformy* [Neotectonics and Neogeodynamics of the West of Eastern European Platform]. Minsk, 2009, 183 p.

11. Karabanov A. K., Gareckij R. G., Ajzberg R. G. *Neotektonika i neogeodinamika Belarusi* [Neotectonics and Neogeodynamics of the Belarus]. Saarbrucken, 2014, 252 p.
12. Mahnach, Nik. A. *Autigennye karbonatnye mineraly v chetvertichnyh otlozheniyah Belarusi*; pod red. Nik. A. Mahnach [Authigenic Carbonate Minerals in the Quaternary Deposition of Belarus]. Minsk, 2007, 215 p.
13. Bogdasarov M. A. *Yantar' i drugie iskopaemye smoly Evrazii* [Amber and Another Fossil Resins of Eurasia]. Brest, 2010, 263 p.
14. Matveev A. V., Bordon V. E. *Geohimija chetvertichnyh otlozhenij Belarusi* [The Geochemistry of the Quaternary Deposits of Belarus]. Minsk, 2013, 191 p.
15. Stankevich R. A. *Minskoe mestorozhdenie glubokih artezianskikh vod* [Minsk Deposit of Deep Artesian Waters]. Minsk, 1997, 87 p.
16. Gudak S. P., Shapoval L. I., Fursikov G. L. *Mineral'nye i promyshlennye vody Respubliki Belarus'*: Obzornaya informaciya [The Mineral and Industry Waters of the Republic of Belarus]. Minsk, 1992. 64 p.
17. Kurilo K. A. *Prognоз обес печенности Belarusi запасами пресных подземных вод на перспективу* [The Forecast of Fresh Groundwater Reserves Provision in Belarus on Outlook]. Prirodnye resursy, 2000, no. 4, p. 34–46.
18. Kudel'skij A. V., Karabanov A. K., Lisovskij P. S., Pashkevich V. I., Tomina N. M., Savich-Shemet O. G. *Podzemnye vody Ostroveckogo regiona Belarusi* [The Groundwaters of Astravyets region]. Minsk, 2012, 101 p.
19. Kudel'skij A. V., Yasoveev M. G. *Mineral'nye vody Belarusi* [The Mineral Waters of Belarus]. Minsk, 1994. 280 p.
20. Kudel'skij A. V., Pashkevich V. I., Yasoveev M. G. *Podzemnye vody Belarusi* [The Groundwaters of Belarus]. Minsk, 1998, 260 p.
21. Kudel'skij A. V. *Ocherki po regional'noj gidrogeologii Belarusi* [Feature Articles on Regional Geology of Belarus]. Minsk, 2010, 192 p.
22. Kudel'skij A. V., Pashkevich V. I. *Regional'naya hidrogeologiya i geohimija podzemnyh vod Belarusi* [Regional hydrogeology and Geochemistry of Groundwaters of Belarus]. Minsk, 2014, 271 p.
23. *Poleznye iskopaemye Belarusi*. Redkol.: P. Z. Homich i dr. [The Nature Resources of Belarus]. Minsk, 2002, 528 p.
24. *Gidrogeologicheskie karty territorii Belarusi mashtaba 1:500 000*; Redkol.: A. A. Mahnach, A. V. Kudel'skij, S. P. Gudak i dr. [Hydrogeological Maps of the Territory of Belarus on the scale of 1:500 000]. Minsk, 2010.
25. Zhoglo V. G. *Sistema chislennyh geofil'tracionnyh modelej verhnego ehtazha gidrolitosfery yugo-vostoka Respubliki Belarusi* [The System of Numerical Geofiltration Models of the Upper Floor of the Hydrolithosphere]. Minsk, 2001, 176 p.
26. Kruchek S. A., Matveev A. V., Yakubovskaya T. V. i dr. *Stratigraficheskie skhemy dokembrijskih i fanerozojskih otlozhenij Belarusi: ob'yasnitel'naya zapiska* [Stratigraphic Schemes of Precambrian and Farenozoic Deposits of Belarus]. Minsk, 2010, 282 p.
27. Yakubovskaya T. V., Rylova T. B. *Pozdnekajnozojskie flory rajona proyavleniya neogenovogo karsta v okrestnosti Berezy* [Late Cenozoic Flora of the Neogene Karst Manifestation Area in Barioza Vicinity]. *Flora i fauna kajnozooya Belorussii = Flora and fauna of the Cenozoic of Belarus*. 1992, p. 11–22.
28. Rylova T. B. *Pozdneoligocenovye palinoflory Belarusi* [Late Oligocene Palynoflora of Belarus]. *Litasfera = Lithosphere*, 1996, no. 5, pp. 43–58.
29. Rylova T. B. *Osobennosti ehvoljucii palinoflory Belarusi v konce paleogena i neogene* [Peculiarities of the Evolution of Palynoflora in Belarus at the End of the Paleogene and Neogene]. *Doklady NAN Belarusi = Proceedings of the NAS of Belarus*. 2001, vol. 45, no. 1, pp. 96–100.
30. Rylova T. B. *Ehvoljuciya rastitel'nosti i klimata Belarusi v pozdnem oligocene i miocene* [The Evolution of the Vegetation and Climate of Belarus in Late Oligocene and Miocene]. *Doklady NAN Belarusi = Proceedings of the NAS of Belarus*, 2001, vol. 45, no. 3, pp. 95–99.
31. Rylova T. B., Savchenko I. E. *Palinostratigrafiya, rastitel'nost' i klimat drevnejshih mezhlednikovyh intervalov glyaciopilejstocena Belarusi* [Palynostratigraphy, Vegetation and Climate of the Most Ancient Interglacial Intervals of the Glaciophiestocene of Belarus]. *Materialy V pol'sko-beloruskogo seminara* [Proc. of the V Polish-Belarusian Workshop]. Varshava, 2007, pp. 21–29.
32. Rylova T. B., Savchenko I. E., Granoshevskij V., Vinter H. *Mezhregional'naya korrelyaciya verhnepripyatskikh (Upper Wartanian), muravinskikh (Eemian) i nizhnepoozerskikh (Lower Vistulian) pyl'cevyh zon Belarusi i Pol'shi* [Interregional Correlation of Upper Wartanian, Eemian and Lower Vistulian Pollen Zones of Belarus and Poland]. *Litasfera*, no. 1 (28), 2008, pp. 64–75.
33. Zernickaya V. P., Matveev A. V. *Ehapy osadkonakopleniya v pozdnelebednikov'e i golocene aya* [Stages of Sedimentation in the Late Glacial and Holocene]. *Materialy mezhdunar. nauch. konf. k 80-letiyu Instituta prirodopol'zovaniya "Problemy prirodopol'zovaniya: itogi i perspektivy"* [Proc. of the Int. Scientific Conf. to the 80-th Anniversary of the Institute for Nature Management 'Problems of Nature Management: Results and Perspectives'], 2012, pp. 287–294.
34. Makhnach N., Zernitskaya V., Kolosov I., Simakova G. *Stable oxygen and carbon isotopes in Late Glacial-Holocene freshwater carbonates from Belarus and their palaeoclimatic implications*. *Journal Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2004, no. 209, p. 73–101.
35. Mahnach Nik. A., Zernickaya V. P. *Klimaticheskie izmeneniya v pozdnelebednikov'e – golocene Belarusi (po dannym izotopno-geochemicaleskogo issledovaniya autigennogo ozernogo kal'cita)* [Climate Changes in Late Glacial - Holocene of Belarus (According to the Isotope-geochemical Study of Authigenic Lake Calcite)]. *Vesnik Brehskago universitehta. Ser. 5. Himiya. Biyalogiya. Navuki ab Zyamli = The Herald of the Brest University. Ser. 5. Chemistry. Biology. Earth Sciences*, 2010, no. 2, pp. 81–94.
36. *Paleogeografiya kajnozooya Belarusi*; pod red. F. Yu. Velichkevich i dr. [Paleogeography of Cainozoic of Belarus]. Minsk, 2002, 163 p.
37. Rylova T. B., Savchenko I. E. *Rastitel'nost' i klimat mezhlednikovyh intervalov plejstocena Belarusi po dannym palinologicheskikh issledovanij* [Vegetation and Climate of the Pleistocene Interglacial Intervals of Belarus on the Data of Study]. *Litasfera = Lithosphere*, no. 1. (24), 2006, pp. 12–26.

38. Rylova T. B., Savchenko I. E. *Aleksandrijskoe mezhlednikov'e Belarusi po dannym palinologicheskikh issledovanij* [Alexandria Interglacial of Belarus on the Data of Palyntological Study]. *Litasfera = Lithosphere*, no. 1 (34), 2011, pp. 54–68.
39. Rylova T. B., Savchenko I. E. *Rekonstrukciya paleotemperatur belovezhskogo i mogilevskogo mezhlednikov'j Belarusi* [The Reconstruction of the Paleotemperatures of Bialowieza and Mogilev Interglacials of Belarus]. *Doklady NAN Belarusi = Proceedings of the NAS of Belarus*, 2004, vol. 48, no. 4, pp. 87–91.
40. Rylova T. B., Savchenko I. E., Vinter H., Granoshevskij V. *Rastitel'nost' i klimat Belarusi i Pol'shi v pozdnepripyatskoe (pozdnyaya odra), muravinskoe (ehem) i rannepoozerskoe (rannij vistulian vremya)* [Vegetation and Climate of Belarus and Poland in Late Pripyat (Late dora), Muravian (Eem) and early Poozerie (early vistulian) time]. *Litasfera = Lithosphere*, 2013, no. 2 (39), pp. 3–24.
41. Veski S., Seppä H., Stancikaitė M., Zernitskaya V. et al. Quantitative summer and winter temperature reconstructions from pollen and chironomid data between 16–8 ka in the Baltic–Belarus area. *J. Quaternary International*, 2015, v. 388, pp. 4–11.
42. Zernickaya V. P., Novenko E. Yu. Rekonstrukciya klimata Belarusi v pozdnelednikov'e i golocene [The Reconstruction of Belarusian Climate in Late Glacial and Holocene]. *Nauka i innovacii = Science and Innovations*. Minsk, 2016, no. 9, pp. 21–24.
43. Gribik Ya. G. *Perspektivy osvoeniya resursnogo potenciala netradicionnogo uglevodorodnogo syr'ya Belarusi* [The Perspectives of the Development of the Resources' Potential of Hydrocarbonic Raw of Belarus]. *Litasfera = Lithosphere*, 2014, no. 2 (41), pp. 9–16.
44. Matveev, A. V., Karabanov A. K., Avtushko M. I. *Radon v geologicheskikh kompleksah Belarusi* [Radon in Geological Complexes of Belarus]. Minsk, 2017, 136 p.
45. Macveeý A. V., Yakushka V. P. *Pra rehl'ef Belarusi* [About the relief of Belarus]. Minsk, 1994, 72 p.
46. Pavlovskaya I. Eh. *Polockij lednikovo-ozernyj bassejn: stroenie, rel'ef, istoriya razvitiya* [Polotsk Glacial-Lake Basin: Structure, Relief, the History of Development]. Minsk, 1994, 127 p.

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

Махнач Анатолий Александрович – академик, д-р геол.-мин. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, филиал «Институт геологии» Республиканского унитарного предприятия «Научно-производственный центр по геологии» (ул. Купревича, 7, 220141, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: instgeology@tut.by

Карабанов Александр Кириллович – академик, д-р геол.-мин. наук, профессор, директор, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: karabanov@ecology.basnet.by

Матвеев Алексей Васильевич – академик, д-р геол.-мин. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: matveyev@ecology.basnet.by

Гарецкий Радим Гавrilович – академик, д-р геол.-мин. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: natali@nature.basnet.by

Кудельский Анатолий Викторович – 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: ryabova@ecology.basnet.by

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

Anatolii Makhnach – Academician, D.Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Chief Researcher, Branch "Institute for Geology" of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Production Center for Geology" (7, Kuprevich Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail:instgeology@tut.by

Aleksandr Karabanov – Academician, D.Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Director, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: karabanov@ecology.basnet.by

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, Republic of Belarus). E-mail: matveyev@ecology.basnet.by

Radim Garetsky – 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: natali@nature.basnet.by

Anatolii Kudelsky – 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: ryabova@ecology.basnet.by

Грибик Ярослав Гаврилович – канд. геол.-мин. наук, зав. лаб. геотектоники и геофизики, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: yaroslavgribik@tut.by

Каратайев Герман Иванович – д-р геол.-мин. наук, гл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: german@nature.basnet.by

Пашкевич Василий Иванович – канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Жогло Василий Гаврилович – д-р геол.-мин. наук, зав. лаб. гидрогеологии и гидроэкологии, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: w.zhoglo50@tut.by

Рылова Татьяна Борисовна – д-р геол.-мин. наук, гл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: rylova@ecology.basnet.by

Зерницкая Валентина Петровна – канд. геол.-мин. наук, вед. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: valzern@gmail.com

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

German Karataev – D.Sc. (Geology and Mineralogy), 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: german@nature.basnet.by

Vasilii Pashkevich – 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, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Vasilii Zoglo – D.Sc. (Geology and Mineralogy), Head of Lab. of Hydrogeology and Hydroecology, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: w.zhoglo50@tut.by

Tatyana Rylova – D.Sc. (Geology and Mineralogy), 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: rylova@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, Republic of Belarus). E-mail: valzern@gmail.com

УДК 551.58, 528.8

Поступила в редакцию 01.03.2018

Received 01.03.2013

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНСТИТУТА ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ НАН БЕЛАРУСИ

**В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, И. С. Данилович, Г. А. Камышенка, В. В. Коляда,
В. И. Мельник, В. С. Микуцкий, Т. Г. Табальчук, М. А. Хитриков, В. Д. Чернышев**

Институт природопользования Национальной академии наук Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Статья обобщает результаты климатических исследований в Институте природопользования НАН Беларуси за последние пять лет.

Направления исследований включали: создание и верификацию оперативных методов определения биоклиматических параметров окружающей среды по данным дистанционного зондирования, анализ статистических закономерностей в изменениях глобального и регионального климата, разработку прогнозных оценок изменения климата Беларуси, оценки адаптивной способности территории Беларуси к изменению климата и разработку комплекса мер по ее повышению, научное обеспечение Международных обязательств в области климатологии.

В работе достаточно подробно изложены основные результаты по каждому из указанных направлений, проанализированы перспективы развития и практического использования полученных результатов.

Ключевые слова: изменения климата; дистанционное зондирование; алгоритмы обработки данных; физико-математические модели; биоклиматические параметры; климатические тренды и циклы; прогностические оценки.

Для цитирования. Логинов В. Ф., Лысенко С. А., Данилович И. С., Камышенка Г. А., Коляда В. В., Мельник В. И., Микуцкий В. С., Табальчук Т. Г., Хитриков М. А., Чернышев В. Д. Климатические исследования Института природопользования НАН Беларуси // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 67–86.

CLIMATE RESEARCH IN THE INSTITUTE FOR NATURE MANAGEMENT OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

**V. F. Loginov, S. A. Lysenko, I. S. Danilovich, H. A. Kamyshenka, V. V. Kalyada,
V. I. Melnik, V. S. Mikutsky, T. G. Tabalchuk, M. A. Khytrykau, V. D. Chernyshev**

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

Abstract. The article summarizes results climate research in the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus for the last five years.

Areas of the research embrace: development and verification of high speed methods for retrieval of the ambient medium bioclimatic parameters from remote sensing data, statistical analysis of global and regional climate changes peculiarities, forming of Belarus climate change prognostic scenarios, assessment of the Belarusian territory adaptive capacity with respect to climate change and development of recommendations for its improvement, scientific support of International agreements in the field of climatology.

The progressive results from mentioned above areas of science are reviewed in the article along with discussion of their future enhancement and practical applications opportunities.

Keywords: climate changes; remote sensing; data processing algorithms; physic-mathematical models; bioclimatic parameters; climatic cycles and trends; predictive assessment.

For citation. Loginov V. F., Lysenko S. A., Danilovich I. S., Kamyshenka H. A., Kalyada V. V., Melnik V. I., Mikutsky V. S., Tabalchuk T. G., Khytrykau M. A., Chernyshev V. D. Climate research in the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 67–86.

Возрастающее влияние изменений климата на экономическую и социальную жизнь общества, деятельность различных отраслей народного хозяйства и международную безопасность побуждает мировое научное сообщество к широкомасштабным исследованиям взаимодействий между основными элементами климатической системы и к оценкам значимости различных естественных и антропогенных факторов в наблюдаемых изменениях окружающей среды и климата [1].

В последние десятилетия особенно наметились четкие тенденции в изменении климата, и усилилась его экстремальность. Согласно данным Всемирной метеорологической организации (ВМО), среднегодовая концентрация диоксида углерода в атмосфере Земли в 2016 г. достигла психологиче-

ски значимой отметки в 400 ppm, что ставит под сомнения планы развитых стран по недопущению повышения глобальной температуры Земли более чем на 2 градуса к концу века. В отчетах ВМО говорится, что 2016 г. был самым теплым за всю историю метеонаблюдений, а 2015 и 2017 г. заняли в этом списке второе место.

В ходе исследований, развернутых в ответ на глобальные климатические угрозы, климатология из научной дисциплины, обобщающей результаты метеорологических наблюдений, превратилась в передовую область междисциплинарных знаний, базирующихся на самых передовых достижениях науки и техники. Современные физико-математические модели климата – это модели энерго- и маскообмена между атмосферой, океаном, криосферой, биосферой и деятельным слоем суши, причем центральным направлением их развития является все большая детализация и точность описания всех физических процессов, участвующих в формировании климата.

Естественно, что дальнейшее совершенствование моделей климата затруднительно без организации глобальных и региональных сетей наблюдений за атмосферой, океаном и поверхностью суши, а также без привлечения данных дистанционного зондирования из космоса. Ценную информацию для моделирования углеродного цикла и количественных оценок роли наземных экосистем в формировании баланса атмосферно-биосферных потоков энергии и вещества (тепла, влаги, парниковых газов) представляют данные сети FLUXNET, в рамках которой организован глобальный мониторинг различных типов наземных экосистем методом турбулентных пульсаций [2, 3]. Для исследований процессов переноса аэрозоля в атмосфере и его влияния на окружающую среду и климат создаются наземные сети оптического дистанционного зондирования (AERONET, EARLINET, Cis-LiNet и др.), интенсивно совершенствуется измерительная техника и алгоритмы обработки результатов измерений [4–8]. В рамках масштабной Европейской программы «Copernicus» по исследованию Земли и околоземного космического пространства развертываются новые виды глобального дистанционного мониторинга на оперативной основе и с бесплатным предоставлением его данных научному сообществу.

Хорошими примерами плодотворного комплексного использования данных наземных измерительных сетей и спутникового мониторинга окружающей среды являются разработанные в NASA полуэмпирические модели чистой первичной продуктивности и суммарного испарения экосистем [9, 10], способные лечь в основу расчетов атмосферно-биосферных потоков и углеродного цикла в соответствующих блоках климатических моделей. Совмещение оперативной метеорологической и спутниковой информации с динамическими моделями производственного процесса растительности получает все большее распространение в агрометеорологии [11, 12], что в перспективе должно привести к созданию автоматизированных информационных систем поддержки принятия управлеченческих решений в аграрном секторе с целью обеспечения продовольственной безопасности.

Для выработки эффективных мер по снижению негативных последствий изменений климата и адаптации к ним погодозависимых отраслей экономики (сельского хозяйства, энергетики, строительства и др.) любого государства необходимо детальное изучение его климатических ресурсов и заблаговременное предоставление информации об ожидаемых климатических условиях на его территории в ближайшей и долгосрочной перспективах. В этой связи повышенные требования предъявляются к качеству данных, используемых для настройки и верификации современных климатических моделей, в том числе данных наземного и спутникового мониторинга аэрозольно-газовых компонентов атмосферы, биоклиматических параметров и энергетического баланса подстилающей поверхности.

Климатические исследования в ГНУ «Институт природопользования НАН Беларусь» ведутся с 1990 г. лабораторией, которая в разные годы называлась лабораторией экологического мониторинга, с 1995 г. – лабораторией климатологии, а с 2007 г. – лабораторией трансграничного загрязнения и климатологии. До 2007 г. ее возглавлял академик В. Ф. Логинов, а с 2007 г. – доктор технических наук С. В. Какарека. В соответствии с Постановлением Бюро Президиума НАН Беларусь от 10 марта 2017 г. на базе лаборатории трансграничного загрязнения и климатологии Института природопользования НАН Беларусь создан Центр климатических исследований. Новая структура в составе Института природопользования продолжит исследования по ряду важных направлений:

- исследование глобального и регионального климата и его изменений под влиянием естественных и антропогенных факторов;
- исследование изменений в атмосфере, гидросфере, криосфере и биосфере для усовершенствования существующих моделей глобальных и региональных изменений окружающей среды;
- разработка физико-статистических основ сверхдолгосрочных прогнозов погоды и сценариев изменения климата;
- оценка влияния изменения климата на климатозависимые отрасли экономики и разработка рекомендаций по их адаптации;

- разработка справочных пособий и нормативных документов в области сельскохозяйственной и строительной климатологии, рекреации, туризма, а также охране атмосферного воздуха от загрязнений (совместно с органами Государственного управления);
- научное обеспечение международных обязательств в области климатологии.

Ниже представлен обзор основных научных результатов климатических исследований в Институте природопользования НАН Беларуси за последние пять лет.

Определение биоклиматических параметров окружающей среды по данным дистанционного зондирования: разработанные методы и их практическое использование. Целью дистанционного зондирования Земли из космоса являются наблюдения за глобальной динамикой планеты, включая изменения количества и свойств облачности, составляющих радиационного баланса и биоклиматических параметров атмосферы, поверхности суши и океанов. Регулярное получение такой информации с большим пространственным охватом необходимо для совершенствования компьютеризированных моделей, позволяющих объяснять причины и прогнозировать последствия изменения климата.

Известно, что аэрозоль и водяной пар (ВП) существенным образом влияют на радиационный и тепловой режим атмосферы с подстилающей поверхностью, формирование облаков и их свойства. Эти факторы в значительной мере обуславливают климат городов и повторяемость в них таких опасных погодных явлений как грозы, град, туман, ливни и др. В то же время, понимание процессов влияния аэрозоля и ВП на климат урбанизированных территорий является недостаточным и требует основательных исследований. Главным инструментарием таких исследований должны стать дистанционные методы (лидарные, спутниковые), позволяющие получать карты распределений аэрозолей и ВП в городах и их окрестностях.

Одним из новейших приборов, предназначенных для получения такого рода информации, является радиометр OLCI (Ocean and Land Colour Instrument) на борту европейского спутника Sentinel-3 (запущен 16.01.2016 г.). OLCI состоит из пяти 14-разрядных ПЗС-камер, получающих изображения Земли в 21 спектральном канале с центральными длинами волн от 400 до 1020 нм. Ширина полосы обзора прибора – 1270 км, пространственное разрешение – 300 м. В 2017 г. запущен второй спутник серии Sentinel-3 с тем же комплектом аппаратуры, что и у первого. Созвездие из двух взаимодополняющих спутников позволяет за сутки получать многоспектральное изображение всей поверхности Земли.

В ходе выполнения подпрограммы 1 «Природные ресурсы и экологическая безопасность» ГПНИ «Природопользование и экология» (2016–2020 гг.) разработаны сверхбыстрые алгоритмы восстановления интегральных содержаний ВП (IWV , kg/m^2) и мелкодисперсных фракций аэрозоля ($PM_{1.0}$ и $PM_{2.5}$, mg/m^2) в столбе атмосферы из спектральных коэффициентов яркости (КЯ) на ее верхней границе (R_{TOA}). Для зондирования аэрозоля используются спектральные каналы 1–10 прибора OLCI ($\lambda = 400$ – 681 нм) в которых альбедо большинства природных поверхностей не превышает 10 %. Содержание ВП в атмосфере определяется с использованием каналов OLCI из полос поглощения ВП и кислорода, а также из окон прозрачности атмосферы, что в совокупности позволяет исключить влияние спектра отражения подстилающей поверхности и давления воздуха на точность зондирования ВП. Наличие у OLCI каналов в спектральных областях среднего и сильного поглощений ВП обеспечивает примерно одинаковую погрешность алгоритма, как для сухого, так и для очень влажного воздуха.

Для быстрой обработки коэффициентов R_{TOA} , регистрируемых в формате многоспектрального изображения, используются регрессионные уравнения, связывающие R_{TOA} , IWV , PM и геометрические параметры спутниковой сцены (высота местности, зенитные и азимутальные углы визирования и Солнца). Параметры уравнений получены на основе численного моделирования процесса переноса излучения в системе атмосфера–подстилающая поверхность методом дискретных ординат с привлечение многолетних данных AERONET по оптическим и микрофизическим характеристикам аэрозоля, а также базы данных ASTER по спектральным альбедо природных поверхностей [13, 14].

Соотношения, полученные на основе смоделированных данных, позволяют восстанавливать интегральные содержания мелкодисперсных фракций аэрозоля и ВП в атмосфере напрямую из коэффициентов яркости на ее верхней границе без использования многомерных поисковых таблиц (look-up-tables), нейросетевых технологий и сложных компьютерных кодов по расчету характеристик переноса излучения в атмосфере и решению обратных задач аэрозольного светорассеяния.

Верификация разработанных алгоритмов проведена на данных прототипа OLCI – спектрометра MERIS. Оценки IWV и PM , полученные по снимкам MERIS за 2002–2012 гг. сопоставлены с результатами наземного зондирования атмосферы на семи Восточноевропейских станциях сети наземных фотометров AERONET. Среднеквадратические отклонения сравниваемых данных – $1,24 \text{ kg}/\text{m}^2$ для IWV и $5 \text{ mg}/\text{m}^2$ для PM .

Примеры использования разработанных алгоритмов для получения карт пространственных распределений ВП и аэрозольных загрязнений атмосферы по данным спутникового прибора OLCI приведены на рис. 1.

Для расчетов потоков радиации, водяного пара, явного и скрытого тепла на нижней границе атмосферы необходимы данные о температуре подстилающей поверхности (ТПП) с погрешностью не выше 1 К [15]. Однако непосредственное определение ТПП по спутниковым снимкам Земли в тепловой области спектра сталкивается со значительными трудностями учета оптико-метеорологического состояния атмосферы на момент съемки и неопределенности излучательной способности поверхности в направлении визирования. Для решения этих задач кроме окна прозрачности атмосферы 8–12 мкм необходимо использовать данные, получаемые по космическим изображениям Земли в видимом и ближнем ИК диапазонах длин волн. Возможность таких измерений реализована в приборе Европейского космического агентства SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer), установленного на спутниках Европейского космического агентства серии Sentinel-3.

Действующий алгоритм восстановления ТПП по данным прибора SLSTR, известный под названием «Split-Window Algorithm» [16, 17], основан на линеаризации функции Планка и функции пропускания атмосферы в двух спектральных каналах из окна прозрачности атмосферы 10–13 мкм и представлении искомой ТПП в виде алгебраической комбинации яркостных температур, измеряемых со спутника. Аналогичный алгоритм используется и для радиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), установленного на спутниках NASA серии EOS (Earth Observing System). Алгоритмы такого типа просты в применении и обеспечивают оперативность обработки спутниковых данных, однако применимы лишь для ограниченного диапазона ситуаций в атмосфере с умеренными содержаниями в ней аэрозолей и водяного пара.

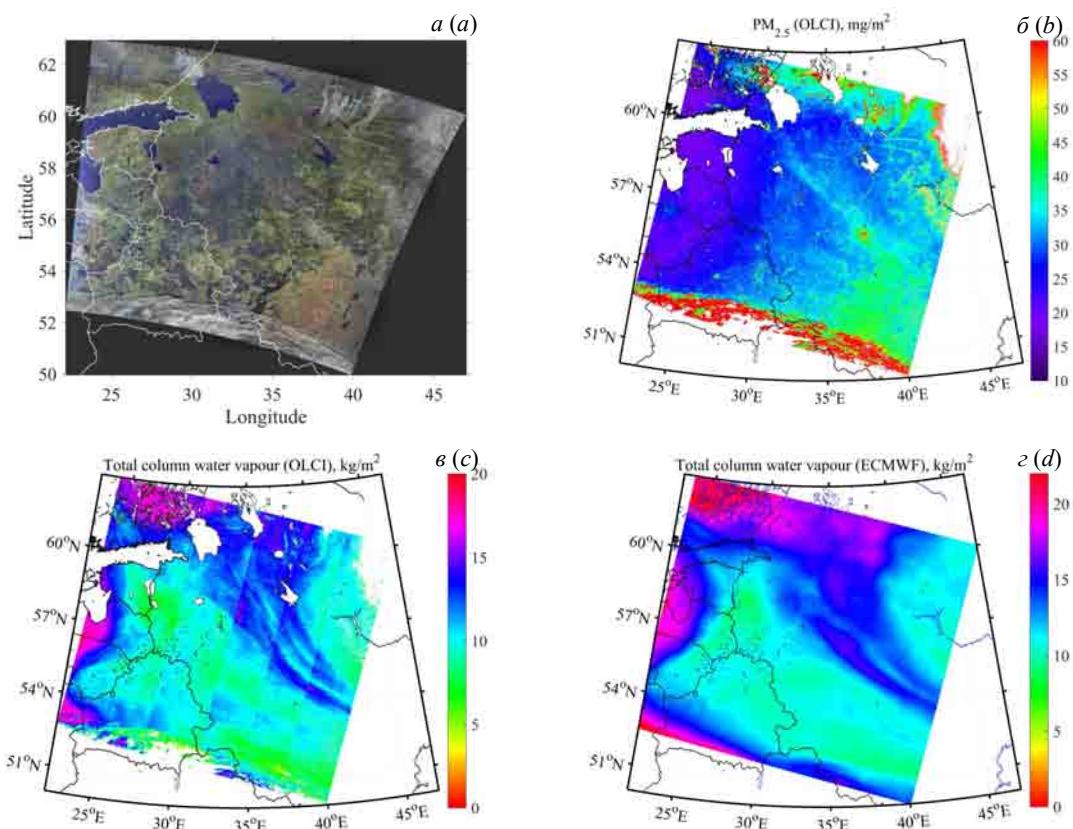


Рис. 1. Пространственные распределения интегральных содержаний в атмосфере мелкодисперсной фракции аэрозоля (б) и водяного пара (в); восстановленные из многоспектрального снимка Земли, сделанного 24.09.2017 г. прибором OLCI (а); пространственное распределение водяного пара, полученное по данным реанализа ERA-Interim (г)

Fig. 1. Spatial distributions of fine aerosol fraction (b) and water vapor total columns (c) retrieved from multispectral image of Earth made in 09.24.2017 with OLCI instrument (a); spatial distribution of water from ERA-Interim reanalysis data (d)

С целью повышения точности термического зондирования Земли из космоса разработан новый метод комплексной обработки данных SLSTR в оптическом диапазоне длин волн, дающий на выходе информацию о передаточных функциях атмосферы, биофизических параметрах земных покровов и их температуре. При анализе спутниковых данных используются разработанные в Центре климатических исследований аппроксимационно-аналитические методы расчета характеристик переноса солнечного и теплового излучения в атмосфере [18], а также полученные регрессионные соотношения между излучательной способностью и спектральными коэффициентами яркости природных поверхностей суши. Разработанный метод включает:

- определение оптической толщины аэрозоля по данным SLSTR в каналах 0,555, 0,659, 0,865, 1,61, 2,25 мкм и атмосферную коррекцию спутниковых изображений в видимом и ближнем ИК диапазонах длин волн;
- определение доли покрытия поверхности растительностью и вычисление излучательной способности поверхности с учетом направления визирования и эффектов рассеяния и отражения теплового излучения в системе растительный покров–почва;
- определение температуры подстилающей поверхности по тепловым изображениям Земли в каналах 10,85 и 12 мкм, скорректированным на эффекты газового поглощения и собственного излучения атмосферы.

В расчетах газового поглощения и рассеяния в атмосфере задействуются данные Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды по содержаниям в атмосфере озона, водяного пара и давлении воздуха, а также данные цифровых моделей рельефа о высоте местности. Аэрозольная оптическая толщина определяется в рамках региональной оптической модели аэрозоля, построенной по данным зондирования атмосферы на станции AERONET в Минске. Передаточные функции атмосферы рассчитываются с использованием аналитических аппроксимаций, полученных на основе численного моделирования переноса излучения в атмосфере. Аэрозольная оптическая толщина итерационно восстанавливается из КЯ на верхней границе атмосферы R_{TOA} (Top of Atmosphere). Для разделения вкладов атмосферы и подстилающей поверхности в сигнал, регистрируемый со спутника, используются соотношения, связывающие КЯ на верхней границе растительного покрова R_{TOS} (Top of Canopy) в видимом и ближнем ИК (1,61, 2,25 мкм) диапазонах длин волн.

Разработанный метод позволил впервые выполнить качественную атмосферную коррекцию снимков, принимаемых со спутников Sentinel-3, и построить карты пространственно-временных распределений биофизических параметров земных покровов в пределах Беларуси. Примеры восстановления биофизических параметров подстилающей поверхности по спутниковым данным приведены на рис. 2.

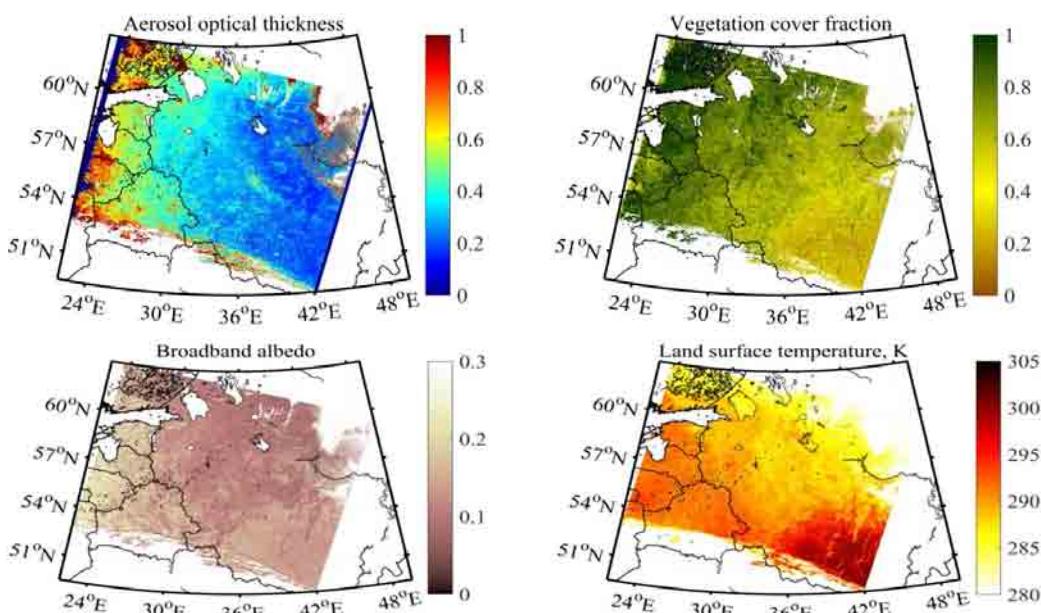


Рис. 2. Пространственные распределения оптической толщины аэрозоля, проективного покрытия, широкополосного альбедо ($\lambda = 0,4\text{--}2,5 \mu\text{м}$) и температуры подстилающей поверхности, восстановленные из многоспектрального снимка Земли прибором SLSTR

Fig. 2. Spatial distribution of aerosol optical depth, vegetation cover fraction, broadband albedo ($\lambda = 0,4\text{--}2,5 \mu\text{m}$) and underlying surface temperature retrieved from multispectral image of Earth acquired by SLSTR instrument

Важнейшим биофизическим параметром ПП, напрямую связанным с первичной продуктивностью фитосфера, является доля солнечной радиации, поглощаемая растительным покровом (FAPAR). Этот параметр используется во многих климатических моделях для оценок ассимиляции углекислого газа в процессе фотосинтеза, а также в агрометеорологии для прогнозирования урожайности культур.

Дистанционное определение FAPAR основывается на аэрокосмических измерениях интенсивности отраженного солнечного излучения. В большинстве известных алгоритмов оценки FAPAR по спутниковым данным используются теоретические или экспериментальные корреляции между FAPAR и вегетационными индексами (EVI, NDVI и др.). Такие алгоритмы имеют узкую область применения, поскольку не позволяют учесть влияние архитектуры растительного покрова, биохимического состава листа и оптических свойств почвы на интенсивность солнечного излучения, отраженного в направлении визирования со спутника. В то же время большие вычислительные сложности моделей переноса излучения в растительных покровах делают невозможным оперативный анализ спутниковой информации на их основе.

Учитывая недостатки известных подходов к оценке FAPAR по данным дистанционного зондирования Земли, нами разработан усовершенствованный алгоритм восстановления этого биоклиматического параметра из спектральных КЯ на верхней границе растительного покрова (R_{TOC}). В основе алгоритма лежит представление о ПП как о двухслойной рассеивающей среде растительность–почва, КЯ которой определяются структурой и биохимическим составом листа, архитектурой растительности (индекс листовой поверхности, угловое распределение листьев, соотношение между средним размером листа и высотой растительного покрова), альбедо почвы и содержанием в ней влаги. Интенсивности излучения, однократно отраженного почвой и однократно рассеянного растительностью, вычисляются с учетом конечных размеров рассеивателей среды и эффектов их взаимного затенения. Последующие акты рассеяния в растительном покрове рассматриваются в рамках модели однородной среды с азимутально-усредненной индикаторной моделью рассеяния и коэффициентом ослабления, зависящим от среднего сечения листов в плоскости перпендикулярной направлению распространения излучения. В модели КЯ почвы однократное рассеяние описывается эмпирической индикаторной, учитывающей наличие максимума отражения природных поверхностей в направлении, обратном падающему излучению. Многократное рассеяние света в почве предполагается изотропным и описывается двухпотоковым приближением.

Для восстановления FAPAR помимо индекса NDVI используются три первые главные компоненты спектра $R_{TOC}(\lambda)$, описывающие 99 % его вариаций. Уравнение, аппроксимирующее связь FAPAR со спектральными отражательными характеристиками растительного покрова, полученное на основе модели переноса в нем излучения, имеет следующий вид:

$$FAPAR = \sum_{n=1}^3 (a_{0n} + b_{0n} \cos \Theta) [NDVI]^n + \sum_{m=1}^3 \sum_{n=1}^3 (a_{mn} + b_{mn} NDVI) \left[\sum_i (R(\lambda_i) - \overline{R(\lambda_i)}) \psi_m(\lambda_i) \right]^n, \quad (1)$$

где a_{nm} и b_{nm} – заданные константы; $i = 1-10, 12, 16-18, 21$ – номера спектральных каналов OLCI из окон прозрачности атмосферы; ψ_m – главные компоненты $R_{TOC}(\lambda_i)$; $\overline{R(\lambda)}$ – средняя модель спектрального коэффициента яркости подстилающей поверхности; Θ – угол рассеяния солнечного излучения в направлении на спутник.

Разработанный алгоритм оценки FAPAR использовался для решения задачи прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур (СХК) на базе спутниковой информации. В основе таких прогнозов лежит тот факт, что рост растений потенциально определяется приходящей к ним солнечной радиацией в спектральной области, пригодной для фотосинтеза (400–700 нм). В известных моделях биологической продуктивности экосистем эффективность преобразования поглощенного растением света в биомассу рассчитывается в зависимости от содержания CO_2 в зеленых листьях, температуры и влажности воздуха, увлажненности почвы и других факторов окружающей среды, лимитирующих рост и развитие растений. Однако для параметризации этих зависимостей необходима представительная выборка обучающих данных (чистая первичная продуктивность, FAPAR, солнечная радиация, гидрометеорологические параметры), которые для СХК, как правило, отсутствуют. В связи с этим на первом этапе построения прогностической модели урожаев эффективность использование света растениями и относительные затраты их биомассы на автотрофное дыхание для каждой СХК в исследуемом регионе полагались постоянными. В этом случае величину накопленной биомассы NPP с начала вегетации можно оценить на основе уравнения

$$NPP_n = \sum_{i=1}^n w_i FAPAR_i, \quad (2)$$

где $w_i = \bar{S}_i \cdot LUE \cdot (1 - A) \Delta t_i$; \bar{S}_i – среднее значение потока фотосинтетически активного солнечного излучения, приходящего на нижнюю границу атмосферы за временной интервал Δt_i ; LUE – эффективность использования растениями поглощенного ими света; A – доля затрат органического вещества на автотрофное дыхание.

Величина биомассы накопленной за заданный отрезок вегетационного периода используется в качестве предиктора урожайности. Учитывая присутствие положительных трендов в данных официальной статистики по урожайности СХК, выращиваемых в Беларуси, связь между NPP и урожайностью Y имеет смысл искать в форме уравнения линейной регрессии

$$Y_k = \alpha + \beta \cdot NPP_n^k + T_k, \quad (3)$$

где k – год, для которого прогнозируется урожайность культуры; T_k – линейный тренд в статистических данных по урожайности для отдельного района или области Республики; α, β – параметры регрессии.

В качестве исходной спутниковой информации для построения регрессионной модели использовались многоспектральные снимки территории Беларуси, сделанные прибором MERIS за все годы его работы на европейском спутнике ENVISAT (2002–2011 гг.). Атмосферная коррекция снимков осуществлялась с использованием аппроксимационной модели переноса излучения в атмосфере, позволяющей в явном виде рассчитывать ее передаточные функции в окнах прозрачности видимого и ближнего ИК диапазонов [18]. Параметр FAPAR для «безоблачных» пикселов каждого обработанного снимка определялся на основе описанного выше алгоритма. Поскольку карты распределений FAPAR, получаемые по данным мгновенной спутниковой съемки, содержат большое количество пропусков, связанных с наличием облачности на снимках, то из них формировались двухнедельные композитные изображения, покрывающие всю территорию Беларуси. Значение FAPAR, представляющее рассматриваемый двухнедельный период вегетации, для каждого пикселя композитного изображения выбиралось из всех сделанных за это время снимков по критерию минимальной оптической толщины слоя атмосферы, зарегистрированной для пикселя.

Параметры α и βw_i регрессионной модели (2), (3) определялись независимо для каждого пикселя по временным рядам FAPAR и данным официальной статистики по урожайностям культур для области, в границы которой попадает рассматриваемый пиксель. Те пиксели, для которых коэффициент корреляции между фактической и предсказанной урожайностью превышает некоторый порог (0,85) группировались в блоки на уровне областей республики. Значения FAPAR, усредненные по маске таких пикселов отдельно для каждой области, объединялись в один ансамбль обучающих данных с целью увеличения объема выборки и повышения надежности регрессионной модели. Такая пространственная агрегация данных оправдана в силу схожих природных условий и технологий выращивания СХК в различных областях Республики Беларусь. Полученный таким способом ансамбль данных, используемый для идентификации параметров прогностических моделей урожайности различных культур, включал 60 усредненных временных рядов FAPAR и соответствующих им данных официальной статистики (за 10 лет по шести областям).

Пример использования разработанной методики для прогнозирования урожайности картофеля на территории Беларуси приведен на рис. 3. Предикторами урожайности выступали значения FAPAR за первую половину мая, первую и вторую половины июня. Для оценки качества построенной регрессионной модели использовалась процедура кросс-валидации (leave-one-out cross-validation), основанная на контроле точности модели по отдельным элементам, последовательно исключаемым из обучающей выборки. Средняя относительная погрешность регрессионной модели (2), (3) для «обучающих» и «тестовых» данных – 9,4 и 10,1 % соответственно.

Таким образом, разработанные модели переноса излучения в атмосфере и земных покровах, а также методы и алгоритмы обработки и анализа спутниковой информации могут использоваться при решении широкого круга научно-практических задач, в том числе: дистанционных оценок изменчивости состояния растительного покрова в результате природных и антропогенных воздействий, оценок потоков тепла и влаги с подстилающей поверхности в климатических и биосферных моделях, мониторинга засух и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, экологического мониторинга окружающей среды, исследования регионального и трансграничного переноса аэрозольных загрязнений атмосферы, получение данных для построения и уточнения моделей климата.

Анализ статистических закономерностей в изменениях глобального и регионального климата. Обычной практикой при оценках потепления является вычисление трендов температурных рядов за различные периоды времени. Стандартно это делается в рамках линейного регрессионного анализа, однако из всех методов статистического анализа практически повсеместно используется только один – вычисление коэффициента линейной регрессии. Игнорируется такая важная часть регрессионного анализа, как определение границ доверительных интервалов для вычисленных коэффициентов регрессии. За рамками исследования остается вопрос о статистической значимости найденных трендов температуры.

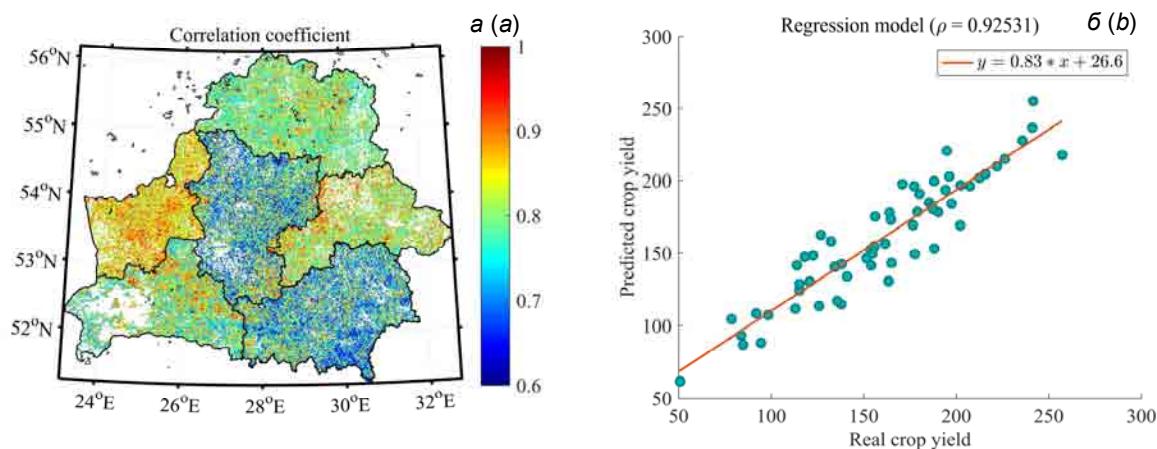


Рис. 3. К построению регрессионной модели урожайности картофеля для областей Беларуси:
а – множественный коэффициент корреляции между урожайностями картофеля в областях и временными значениями FAPAR для попадающих в границы каждой области пикселов композиционного спутникового изображения; б – сопоставление фактических и предсказанных значений урожайности картофеля для объединенной выборки «обучающих» данных по областям Беларуси

Fig. 3. For the building of regression model of potato yield for regions of Belarus:
a – multiple correlation coefficient between potato yield in regions and temporal values of FAPAR for pixels of composite satellite image that lie within borders of each region; b – matching of real and predicted values of potato yield for combined sample of training data for regions of Belarus

Известно, что современное потепление (с конца 1970-х годов до настоящего времени) в большей степени носит зимний характер и наиболее заметно в высоких широтах. С учетом этого для анализа были выбраны ряды средней зимней температуры Северного полушария и территории Беларуси с 1881 г.

Число экстремальных значений трендов, характерное для сверхкоротких периодов, уменьшается при повышении уровня пространственного обобщения. Обратная зависимость проявляется в отношении статистической значимости трендов: наименьшие области значимости – у региональной температуры, в максимальной степени подверженной влиянию циркуляционных процессов (рис. 4).

В целом периоды нынешнего «взрывного» потепления характеризуются отсутствием статистической значимости температурных трендов, причем область их значимости сокращается при уменьшении пространственного осреднения рядов температуры.

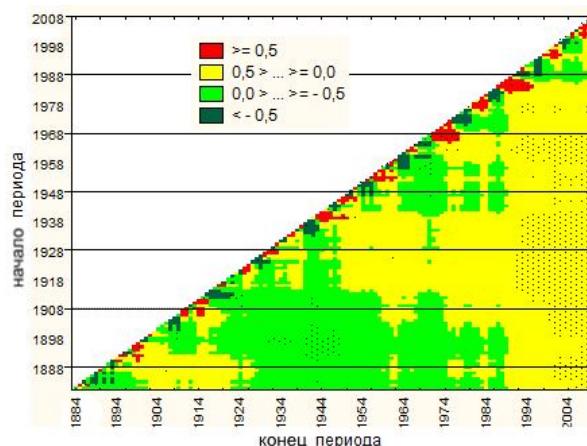


Рис. 4. Тренды зимней температуры воздуха в Беларуси для различных периодов (точками отмечены области статистической значимости)

**Fig. 4. Winter temperature trends in Belarus for different periods
 (points of statistical significance are highlighted in black)**

В случае развития меридиональной южной и меридиональной северной циркуляций (по классификации Б. Л. Дзерзееевского) на Северном полушарии создаются значительные горизонтальные барические градиенты, что создает условия для формирования экстремальных погодных и климатических явлений. Наши исследования показали, что на территории Беларуси число случаев опасных явлений, начиная с 2001 года, уменьшилось по сравнению с предыдущими двумя десятилетиями почти в 1,5 раза. Количество дней с меридиональной южной циркуляцией также уменьшилось на такую же величину. С начала текущего столетия наблюдался рост количества дней с меридиональной северной циркуляцией 12-го типа. Он достиг своего максимума в первом десятилетии XXI в. и должен прекратиться в текущем десятилетии. Количество дней с меридиональной южной циркуляцией в настоящее время приближается к своему минимуму. Это дает основание ожидать снижение повторяемости экстремальных погодных и климатических явлений в ближайшие два десятилетия. Этот вывод также подтверждается анализом циклической структуры повторяемости рассмотренных типов циркуляции [19].

Проведен анализ однородности рядов температуры для территории Беларуси. С 1945 г. по настоящее время использовались данные гидрометеорологической сети Беларуси, а до этого периода (с 1901 г.) – расчётные оценки TYN CY1.1 (Центра им. Дж. Тиндаля, созданного на базе восьми ведущих британских университетов). Анализ показал наличие систематических завышений расчётных температур летних месяцев (июнь, июль, август) над результатами их осреднения по всем станциям наблюдения на 0,30, 0,37, и 0,40 °C соответственно.

После выравнивания ряда летних месячных температур идентифицированы годы с жарким летним сезоном в Беларуси по критериям с нарастающей жесткостью, соответствующим положительным отклонениям летней температуры от средней за период 1901–2012 гг. более чем на 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 2,5 и 3,0 среднеквадратических отклонений (σ) соответственно. На базе выделенных семнадцати лет (с отклонениями от средней температуры $> 1\cdot\sigma$) методами статистической классификации типизирован годовой ход температуры годов-аналогов жаркого лета. Классификация выполнялась как по всем выделенным годам, так и по годам, относящимся к отдельным циркуляционным эпохам в северном полушарии (меридиональной северной и меридиональной южной). В обоих случаях различие средних температур характерно только для зимних месяцев, причем при разбиении годов с жарким летом на два класса их различие имеет место только для декабря и февраля [20].

Методами спектрального анализа подтверждено известное занижение амплитуды суточного хода температуры в городе по сравнению с сельской местностью, а также установлена важная особенность в динамике климата – наличие скачкообразного повышения значений суточных амплитуд на границе 80-х – 90-х годов прошлого столетия на фоне их общего снижения (рис. 5). При этом также уменьшилась абсолютная величина трендов амплитуд (k) за последовательные периоды 1966–1987 и 1988–2011 гг.

На основе гармонического анализа годового хода глобальной температуры воздуха над поверхностью суши за различные исторические периоды установлено монотонное понижение амплитуды колебаний температуры в течение года на протяжении большей части XX столетия, слабо коррелирующее с современным ростом температуры. С начала XXI столетия – в период относительно стабильной температуры наблюдается некоторое увеличение амплитуды ее годового хода. Указанная тенденция проявляется и в амплитудах летних суточных температур. Такой результат с одновременным уменьшением трендов зимних температур (вплоть до отрицательных значений) отражает начало периода летнего типа потепления.

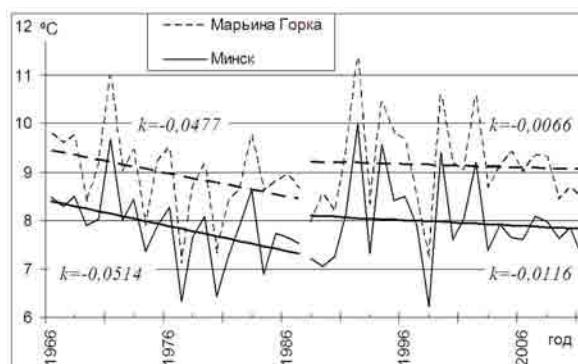


Рис. 5. Временной ход амплитуд летних суточных температур для Минска и Марьиной Горки

Fig. 5. Time course of summer diurnal temperature amplitudes for Minsk and Mar'ina Horka

Проанализирована динамика отрицательных аномалий температур зимнего периода. До потепления (период 1955–1987 гг.) число отрицательных аномалий было максимально во второй половине января – начале февраля, что, в определённой степени, говорит и о неустойчивости погоды в этот отрезок зимы. С потеплением (период 1988–2012 гг.) картина динамики возникновения отрицательных аномалий изменилась почти зеркально, с падением их числа вплоть до нулевого во второй половине января.

Выявлен противофазный квазиклинический характер изменений зимних и весенних среднесезонных суточных амплитуд температуры. Для периода современного потепления, начиная с конца 1970-х гг., характерно уменьшение суточных амплитуд зимой и их увеличение весной. Аналогичная квазиклиническость установлена и для разброса сезонных амплитуд: максимальная изменчивость свойственна переходным сезонам [21]. Эти результаты не согласуются с теорией парникового потепления климата и указывают на необходимость ее уточнения. В то же время, установленные особенности изменения температуры упрощают ее прогнозирование.

Впервые выявлено 22-летнее колебание в изменении величины трендов аномалий температуры в различных регионах Земного шара и установлена его тесная связь с 22-летним магнитным циклом солнечной активности [22]. Главная особенность этого цикла состоит в том, что за время его общего магнитного поля Солнца изменяет направленность на обратную (цикл Швабе) и снова возвращается к исходному состоянию. Таким образом, 22-летний цикл состоит из двух последовательных 11-летних циклов обращения магнитных полярностей в группах солнечных пятен. Для его использования в исследованиях солнечно-климатических связей на основе временного ряда числа Вольфа, характеризующего количество солнечных пятен, смоделирован характеристический ряд 22-летней магнитной циклическости Солнца.

Предметом анализа являлся временной ряд месячных аномалий глобальной и полушарной температур, подготовленный Климатическим центром данных Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA). При рассмотрении скользящих линейных трендов этих аномалий было обнаружено, что динамика величин этих трендов при (суб)глобальном осреднении модулируется 22-летним циклом магнитной солнечной активности, причём это влияние затушёвывается в последние 20–30 лет с наступлением эпохи современного потепления климата (рис. 6).

Уменьшение масштабов пространственного осреднения приводит к потере указанного эффекта. Спектрально-временной анализ среднегодовой температуры воздуха территории Беларуси в период 1881–2016 гг. показывает, что при переходе от глобальных масштабов пространственного осреднения к достаточно малым, сравнимым с территорией Беларуси, эффект 22-летних колебаний температуры становится неразличимым на фоне других более сильных колебаний. При этом в первый, наиболее мощный период современного потепления вплоть до начала временной паузы в потеплении (с середины 1980-х гг. прошлого столетия до начала нынешнего) для Беларуси отмечаются короткопериодные колебания температуры. Последние 20 лет в Беларуси характеризуются усилением 8–9-летних колебаний температуры [23].

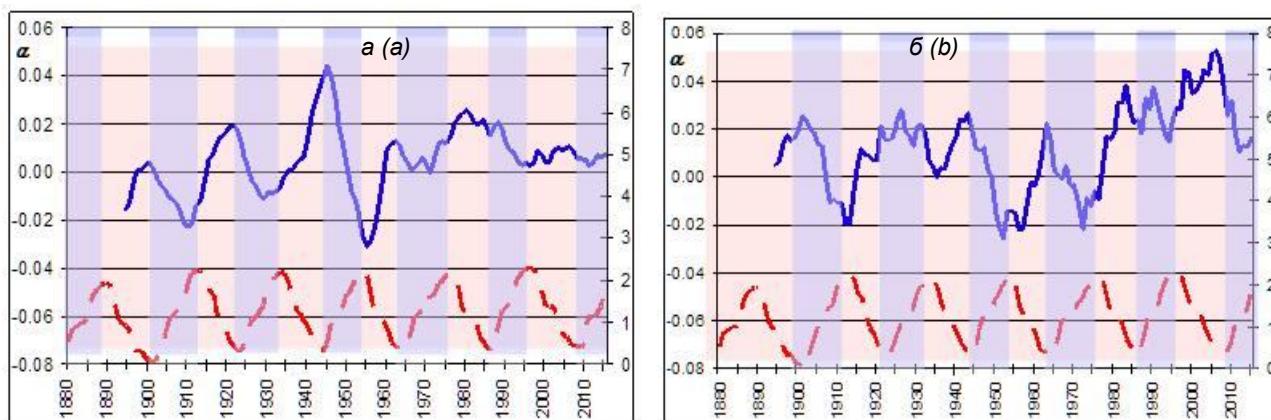


Рис. 6. Скользящие линейные тренды аномалий температур океана Южного полушария (а) и суши Северного полушария (б) (сплошная линия) в сопоставлении с характеристическим рядом 22-летней солнечной активности (штриховые линии)

Fig. 6. Moving linear trend of temperatures of Southern hemisphere oceans (a) and land areas of Northern hemisphere (b) (solid line) in comparison with characteristic series of 22-year solar activity (dashed line)

Прогнозные оценки изменения климата Беларуси. Исследования изменения климата Беларуси проводились с использованием данных климатического моделирования [24]. На первом этапе исследований выполнялся анализ расчетов региональной климатической модели COSMO, разработанной и продвигаемой одноименным Европейским консорциумом. Модель используется как в оперативном режиме для предсказания погоды, так и в климатическом режиме для расчетов долговременных климатических флюктуаций. В основе реконструкции сценариев климата использовались данные реанализа NCEP/NCAR Reanalysis 1 (National Center Environment Prediction & National Center for Atmospheric Research). Выполненные расчеты выявили наличие расхождений между расчетными и наблюдаемыми рядами сезонных и годовых значений температуры воздуха и осадков, которые варьируются в зависимости от сезона, но показали возможность оценок долговременных изменений климата.

Оценки долговременных изменения климата Беларуси базировались на использовании ансамбля климатических моделей (11–12 моделей для каждого метеопараметра и каждого сценария развития парникового эффекта). Выполнены расчеты изменения температуры воздуха и осадков для территории Беларуси за период 2015–2100 гг. на основе комплектов данных консорциума EURO–CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment for Europe region), который в настоящее время предоставляет наиболее современные данные климатического моделирования. Климатическое моделирование выполнено на основе новейших сценариев изменения концентраций парниковых газов RCP (Representative concentration pathways). Расчетные данные характеризуются более высоким разрешением по сравнению с другими проектами (0,44 градуса). Результаты расчетов сравнивались с состоянием климата за период 1971–2000 гг., на основании чего вычислялись отклонения метеорологических параметров от нормы. Получаемые значения среднегодовых и сезонных температур и осадков варьируются в зависимости от комбинации используемых глобальных и региональных моделей. Наименьшие изменения ожидаются для благоприятного сценария RCP2.6, наиболее значимые изменения метеорологических параметров характерны для наиболее агрессивного сценария RCP8.5 (рис. 7).

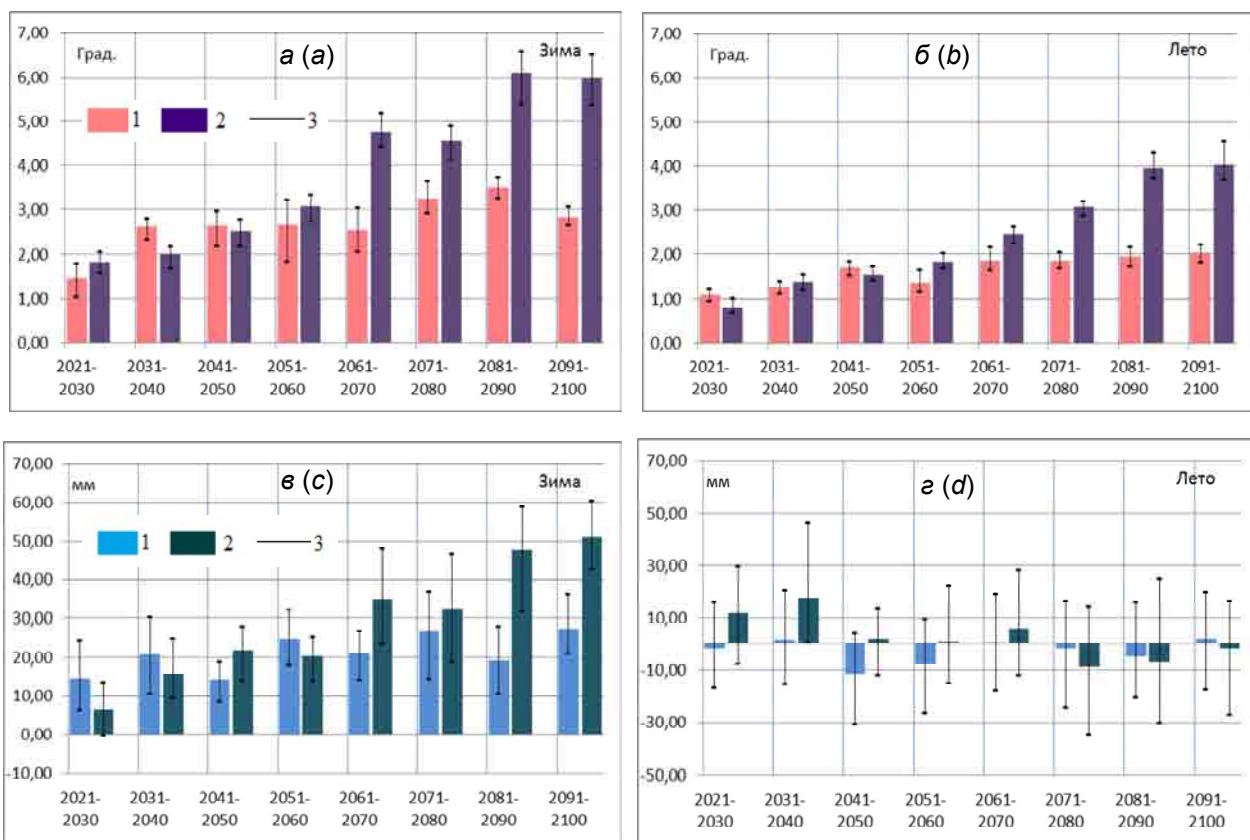


Рис. 7. Отклонения значений температуры воздуха (а, б) и осадков (в, г) по десятилетиям для зимнего (а, в) и летнего (б, г) сезонов: 1 – RCP 4,5; 2 – RCP 8,5; 3 – коридор изменений

Fig. 7. Deviations of air temperature values (a, b) and precipitation (c, d) for ten-year periods for winter (a, c) and summer (b, d) seasons: 1 – RCP 4.5; 2 – RCP 8.5; 3 – spread

Согласно проведенным оценкам ожидаемые изменения климата на территории Беларуси связаны с положительными тенденциями температуры воздуха и осадков [25]. Предполагается увеличение среднегодовой и сезонной температур воздуха. Значимое увеличение осадков прогнозируется для зимнего и весеннего сезонов. Среднегодовые значения температуры воздуха предположительно будут постепенно увеличиваться в течение рассматриваемого периода до 2,4 °C при реализации сценария RCP4.5 и до 4,7 °C при сценарии RCP8.5. Отклонения сезонных значений температуры воздуха ожидаются преимущественно положительными и характеризуются постепенным ростом: в зимний сезон отклонения к концу столетия увеличатся до 2,8 и 6,0 °C (для RCP4.5 и RCP8.5 соответственно), в весенний сезон ожидается увеличение отклонений до 2,3 и 4,5 °C (для RCP4.5 и RCP8.5 соответственно). Летний и осенний сезоны характеризуются более низкими отклонениями температур в пределах 2,0–4,0 °C к концу столетия. В зимний сезон ожидается сокращение числа дней с отрицательной температурой, в летний сезон прогнозируется значимое увеличение теплых (с температурой выше 25 °C) дней.

Средние значения годовых сумм осадков, согласно расчетам, будут колебаться к концу рассматриваемого периода в пределах 15–30 мм без резких межпериодных колебаний. В зимний и весенний сезоны ожидаются наиболее значительные отклонения осадков. В летний и осенний сезоны отклонения сумм осадков не предполагают четко выраженной тенденции к увеличению при обоих сценариях. Климатические индексы, рассчитанные на основе данных по осадкам, показали, что ожидаемый рост осадков будет связан не с увеличением количества дней с осадками, а с увеличением экстремальности характера их выпадения, т. е. увеличения сумм осадков за короткий интервал времени.

На основе прогнозных оценок температурно-влажностных показателей Беларуси рассчитаны значения гидротермических коэффициентов (ГТК) Г. Т. Селянина, характеризующих увлажненность почв для периодов с устойчивой температурой выше (0, 5, 10, 15) °C. Данные большинства моделей общей циркуляции атмосферы и океана дают достаточно существенное уменьшение ГТК (на 0,1–0,7 единиц) в сравнении с их опорными значениями за период 1970–2012 гг., полученными по данным наблюдений на метеостанции Марьина Горка.

Оценки адаптивной способности территории Беларуси к изменению климата и предлагаемые меры по ее повышению. Наиболее актуальным аспектом проблемы изменения климата для Беларуси является выявление современных и прогноз будущих климатических изменений на ее территории, а также оценка их последствий для разработки мер по смягчению воздействий и адаптации к ним уязвимых секторов экономики.

На основании данных о среднесуточных значениях температуры воздуха на 24 метеостанциях Беларуси за период 1955–2015 гг. проведено картирование средних температур для каждого года, сезона, а также отдельно для каждого месяца и для каждой декады месяца. В результате получены карты распределения среднегодовых, среднемесечных, а также среднедекадных температур для всего доступного периода (1955–2015 гг.), периода современного потепления климата (1988–2015 гг.) и предшествующего ему периода (1955–1987 гг.). Проведен анализ пространственно-временных изменений температур на территории Беларуси для указанных периодов. Показано влияние естественных (географическая широта, долгота и высота над уровнем моря) и антропогенных (урбанизация) факторов на положение изотерм в годовом ходе (в месячном и декадном разрешении) [26].

Оценены изменения величин временных трендов температур различных дней года. Показано, что если в более ранние периоды современного потепления климата заметны более высокие значения трендов температуры в конце зимы–весной, то в настоящее время наблюдается фактически противоположная тенденция: рост температур приходится в основном на летне–осенний период. Одной из возможных причин такого изменения в характере современного потепления климата в Беларуси может быть влияние Атлантического океана (изменение адвекция тепла через Кольский меридиан) [27].

Для территории Беларуси установлена тесная корреляция температурных показателей с географическими координатами метеостанций, проявляющаяся при климатических масштабах осреднения. Показано, что для сумм атмосферных осадков подобная связь отсутствует. С использованием данных за 1986–2005 гг. построены уравнения множественной линейной регрессии, описывающие зависимость температурных показателей от широты, долготы и абсолютной высоты местности и продемонстрированы возможности их использования для решения различных теоретических и практических задач [28].

В частности, с использованием результатов регрессионного анализа оценен вклад различных факторов в формирование температурного режима на территории Беларуси. Показано, что в теплый период года основным фактором здесь является приходящая солнечная радиация, в то время как в холодный период ведущим фактором становится адвекция тепла из Северной Атлантики. В переходные сезоны перенос тепла под влиянием воздушных масс резко снижается, а в летнее время их место занимают процессы, связанные с континентальностью климата. В течение практически всего года статистически значимое отрицательное по знаку и относительно небольшое по силе влияние на термический режим территории Беларуси оказывает абсолютная высота местности. Роль еще одного

фактора – подстилающей поверхности – проявляется в формировании положительных либо отрицательных температурных аномалий и наиболее выражена в теплый период года.

Методом математико-картографического моделирования, базирующимся на установленных регрессионных зависимостях и цифровой модели рельефа для территории Беларуси, построены картограммы сумм активных температур выше (0, 5, 10, 15) °C и производных от них величин (рис. 8). Математико-картографическое моделирование позволяет устранить искажающие эффекты интерполяции, возникающие под влиянием урбанизации, неравномерного размещения сети метеостанций, отсутствия информации по приграничным районам и дать адекватную оценку распределения термических ресурсов страны [28].

Распределение сумм температур выше 10 °C на территории Беларуси оценивалось также в работах [29–32]. Полученные результаты однозначно говорят о росте теплообеспеченности территории Беларуси, но, в зависимости от рассматриваемого периода, способа определения дат перехода через 10 °C и метода интерполяции метеорологических данных, дают весьма различную картину расположения агроклиматических областей.

Границы агроклиматических областей Беларуси, установленные нами по суммам температур выше 10 °C за период потепления, сдвинуты по отношению аналогичным границам схемы районирования А. Х. Шкляра [29]. В работе [32] дана оценка агроклиматических ресурсов Беларуси и условий произрастания СХК по характеристикам тепло- и влагообеспеченности в пределах выделенных новых границ. Поскольку вследствие глобального потепления изолинии и границы новых агроклиматических районов могут сдвигаться к северу, то для потребителей агроклиматической информации разработана удобная форма ее представления в виде карт агроклиматических показателей в пределах административных районов республики с возможностью автоматического обновления [30, 31].

Для оценки биологической продуктивности земель и условий выращивания на них СХК используются различные интегральные показатели, объединяемые общим названием «биоклиматический потенциал» (БКП). В основе метода расчета БКП, предложенного Д. И. Шашко [33], лежит физико-статистическая модель, характеризующая процесс развития растений на крупной территории в виде произведения коэффициентов их роста по тепло- и влагообеспеченности:

$$\text{БКП} = K_p \frac{\sum t > 10^\circ\text{C}}{1000^\circ\text{C}}, \quad (4)$$

где $K_p = 1,5\lg(20Md) - 0,21 + 0,63Md - Md^2$ – коэффициент роста за счет атмосферного увлажнения, представляющий собой отношение продуктивности при данных условиях влагообеспеченности к максимальной продуктивности в условиях оптимальной влагообеспеченности; Md – коэффициент атмосферного увлажнения, равный отношению суммы осадков к сумме среднесуточных значений дефицита влажности воздуха за год; $\sum t > 10^\circ\text{C}$ – сумма температур воздуха выше 10 °C для исследуемой местности; 1000 °C – их значение на северном пределе развития земледелия.

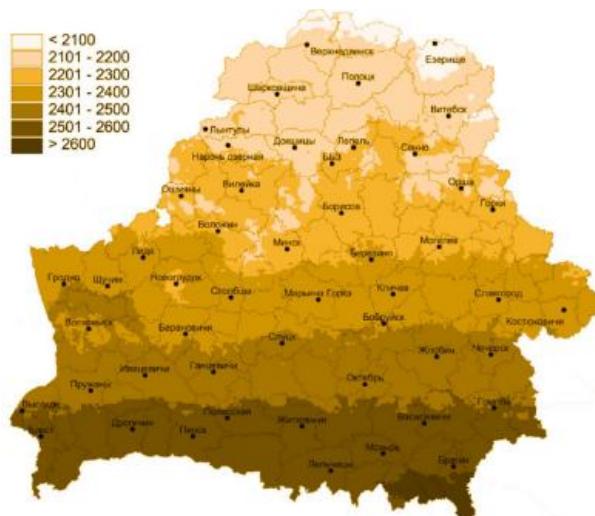


Рис. 8. Распределение суммы температур выше 10 °C за 1986–2005 гг., рассчитанное на основе их регрессионных связей с географическими координатами и высотой местности

Fig. 8. Distribution of sums of temperature above 10 °C for 1986–2005 calculated according to its regression coupling with geographical coordinates and altitude

При сравнениях биопродуктивности земель Беларусь использовалось среднее значение БКП для территории СССР в период 1961–1971 гг., условно принятое за 100 баллов. Наши расчеты с привлечением данных агроклиматических справочников показывают в среднем для Беларусь превышение БКП над его опорным значением в 1,21–1,35 раза [30, 34, 35]. В период 2001–2015 гг., когда происходило потепление по летнему типу, отмечается больший рост значений БКП, чем для периода 1989–2000 гг., для которого было характерно потепление по зимнему типу. Для отдельных метеорологических станций, располагающихся преимущественно в западной и центральной Беларусь, наибольший рост значений БКП наблюдается для периода 1989–2000 гг.

С целью оценки влияния других метеорологических параметров на условия выращивания СХК введены поправки к БКП, учитывающие температуру почвы на глубине 5 см и суммарную солнечную радиацию. Введение поправочного коэффициента на величину температуры почвы привело к увеличению БКП на 3–8 баллов для легких почв и на 1–4 балла для тяжелых. Введение поправочного коэффициента на величину суммарной солнечной радиации не привело к существенному изменению значений БКП.

Метод оценки БКП, предложенный О. Д. Сиротенко [36], базируется на моделировании основных процессов в агрокосистеме (тепло- и влагообмена, продукционного процесса, динамики углерода) в рамках имитационной системы климат–почва–урожай. Оцениваемый БКП представляет собой величину надземной биомассы в тоннах сухого вещества на один гектар за вегетационный период, который определяется по датам устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 5 °C весной и осенью. В сравнениях фигурирует радиационно-термический потенциал (РТП) – фундаментальная характеристика почвенно-климатических ресурсов. Величина РТП в условиях открытого грунта не поддается регулированию и ограничивается лишь приходом фотосинтетически активной радиации и термическим режимом. Другим показателем служит гидротермический потенциал (ГТП), лимитирующими факторами которого выступают условия влагообеспеченности. В обоих случаях режим минерального питания растений считается оптимальным.

Корреляционный анализ по выборке из 25 стран показал, что РТП является аналогом БКП (4), нормированного на его опорное значение для территории СССР (коэффициент детерминации $\sim 0,9$). По средней величине РТП (15 т/га) Беларусь на постсоветском пространстве уступает (в порядке убывания различий) Молдове, Северному Кавказу, Украине и югу Поволжья. Она значительно превосходит лишь страны Северной Европы, находится на уровне большинства государств Центральной и Западной Европы, заметно уступает Венгрии, Румынии и в особенности странам Южной Европы. В то же время по средней величине ГТП (14,9 т/га) Беларусь выделяется максимальным значением среди постсоветских стран, находясь на уровне либо превосходя большинство европейских стран (рис. 9).

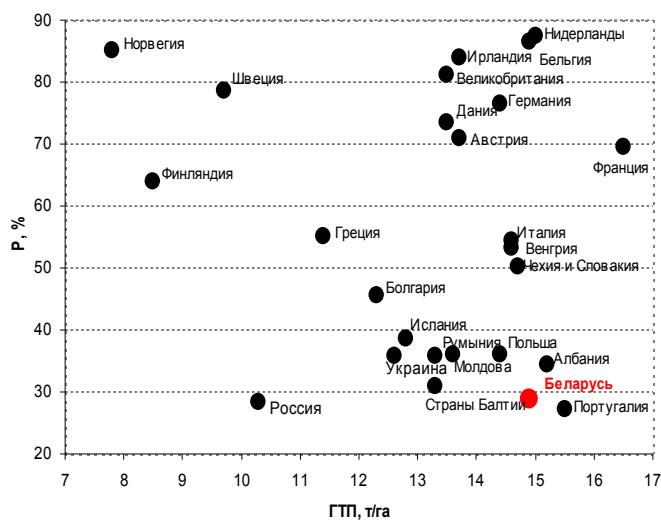


Рис. 9. Гидротермический потенциал и уровень его реализации (отношение урожайности культур к ГТП в %) для государств СНГ и Европы

Fig. 9. Hydrothermal potential and level of its realization (yield-to-HTP ration in %) for states of CIS and Europe

Это объясняется благоприятным режимом атмосферного увлажнения на территории Беларуси, в то время как в южных странах с более высокими значениями РТП дефицит естественной влаги заметно снижает величину ГТП. При этом наиболее высокая эффективность реализации ГТП в величине урожайности (до 80 % и выше) характерна для стран Западной и Северной Европы, а наиболее низкая – для стран Южной и Восточной Европы, включая Беларусь (около 30 %) [30].

Сравнительный анализ БКП Беларуси и смежных территорий Литвы и Украины показал, что изменения БКП на рассмотренных территориях в целом схожи, но имеются и некоторые отличия. Основное из них связано со снижением значений БКП на большей части территории Украины в течение 2001–2015 гг., что вызвано усилением засушливости климата [35]. Проведенный анализ корреляций средних значений БКП по странам и средних значений урожайности основных СХК (озимая и яровая пшеница, озимая рожь, ячмень, овес, кукуруза, гречиха, картофель, лен и сахарная свекла) показал, что вклад БКП в формирование урожайности культур невелик по сравнению с эффектом, достигаемым за счет улучшения сельскохозяйственных технологий и плодородия почв (особенно для Украины). Наибольшие значения корреляции значений БКП и урожайности характерны для Беларуси.

Выполнена оценка последствий изменений погодно-климатических условий для растениеводства страны, включая изменчивость продуктивности основных возделываемых культур, устойчивость и эффективность сельскохозяйственного производства [37].

Методом эталонных урожаев с использованием результатов государственного сортоиспытания и статистических данных по урожайностям СХК за 2001–2012 гг. выполнена агроклиматическая оценка их продуктивности для территории Беларуси. Результаты оценки показывают, что агроклиматические ресурсы страны не ограничивают достижение высоких уровней урожайности при возделывании широкого круга сельскохозяйственных культур и в растениеводстве сохраняются значительные резервы для их роста [38]. В сравнении с результатами аналогичных оценок за 1971–1980 гг. обнаруживается значительный рост потенциальных и действительно возможных урожаев под влиянием расширения сортового разнообразия возделываемых культур. Однако этот рост, как правило, не сопровождался адекватным увеличением урожаев в производстве, что обусловило заметное снижение эффективности использования агроклиматических ресурсов и реализации агроэкологического потенциала при фактической неизменности коэффициента благоприятности климатических условий.

Таким образом, полученные нами оценки позволяют говорить о вполне сопоставимом с уровнем западноевропейских стран потенциале урожаев в Республике Беларусь, при кардинальных различиях в его нынешней реализации. При этом динамика урожаев сельскохозяйственных культур в развитых странах выходит на плато, и для обеспечения их дальнейшего роста требуется поиск принципиально новых мер интенсификации: внедрения методов точного земледелия, перехода к использованию генномодифицированных организмов и т. п. В то время как рост урожайности в нашей стране, равно как и снижение производственных затрат и повышение эффективности растениеводства, связаны с выполнением существующих технологических регламентов при возделывании сельскохозяйственных культур, а также со снижением производственных издержек организационно-экономического характера [39].

На основе данных глобальной климатической модели HadCM3C разработан прогноз изменений БКП для территории Беларуси и сопредельных государств (Литвы и Украины) до 2035 г. наблюдаемые общие закономерности изменения БКП в будущем сохранятся. БКП продолжит расти и к 2035 г. увеличится предположительно на 15–20 баллов. При этом следует иметь в виду, что рост БКП преимущественно будет обусловлен повышением температуры, которое, в свою очередь, может приводить к увеличению количества неблагоприятных явлений и к усилению засушливости.

Таким образом, БКП территории Беларуси за период современного потепления климата существенно вырос и продолжит повышаться в будущем. Агроклиматические условия будут улучшаться, и это потребует пересмотра существующего видового и сортового состава СХК – введения более теплолюбивых, засухоустойчивых и позднеспелых сортов.

Выполнение Государственных программ и обеспечение Международных обязательств в области климатологии. Одним из направлений Центра стала оценка влияния изменения климата на зависимости от него отрасли экономики и разработка рекомендаций по их адаптации. Совместно с Республиканским центром полярных исследований проводятся исследования изменений в атмосфере, гидросфере, криосфере и биосфере полярных широт Восточной Антарктиды. С 2017 г. в рамках подпрограммы 2 «Развитие государственной гидрометеорологической службы, смягчение последствий изменения климата, улучшение качества атмосферного воздуха и водных ресурсов» Государственной программы «Охрана окружающей среды и устойчивое использование природных ресурсов 2016–2020 гг.» начато выполнение таких важных мероприятий, как «Детализация оценки изменений климата и разработка сценариев и статистических моделей изменения климата страны в XXI веке». На основании данных 30-летних наблюдений: определены динамические климатические нормы и

многолетние тренды температуры, скорости ветра, влажности и облачности в областных центрах Беларусь; проведена пространственно-временная детализация изменений температуры воздуха на территории Беларусь для различных фаз годового цикла (по декадам, месяцам и за год в целом) за различные исторические периоды; осуществлена адаптация методов и получены оценки биоклиматического потенциала Беларусь за период современного потепления климата. Работы по данной тематике продолжаются и в 2018 г.

При выполнении работы «Разработка комплекса мер по эффективному использованию пойменных земель, вовлечению в хозяйственный оборот и обеспечению воспроизведения природно-ресурсного потенциала Припятского Полесья, минимизации негативных последствий техногенных воздействий и экстремальных гидрометеорологических явлений» (мероприятия по научному обеспечению Государственной программы социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья на 2010–2015 гг.) подготовлена оценка современных климатических изменений Припятского Полесья и даны рекомендации для растениеводства и животноводства по использованию возросших агроклиматических ресурсов и адаптации к изменениям климата.

В рамках задания 1.06 «Оценка влияния урбанизации и мелиорации на климатические, водные, земельные и лесные ресурсы Беларусь» подпрограммы 1 «Природные ресурсы и экологическая безопасность» Государственной программы научных исследований на 2016–2020 годы «Природопользование и экология» в 2016–2017 гг. обеспечено выполнение НИР «Оценка агроклиматических ресурсов и новое агроклиматическое районирование территории Беларусь с учетом изменения климата». В результате уточнены границы агроклиматических областей Беларусь по суммам температур выше 10 °C за период потепления; дана оценка агроклиматических ресурсов территории и условий произрастания сельскохозяйственных культур в пределах выделенных новых границ агроклиматических областей; выполнено новое агроклиматическое районирование территории Беларусь по условиям теплообеспеченности и влагообеспеченности. Выделены новые агроклиматические районы и дано их описание.

В 2017 г. обеспечено выполнение НИР: «Оценка изменений климатических характеристик на территории Беларусь на основе использования численных расчетов». Результатом работы является прогноз изменений годовых и сезонных изменений температуры воздуха и осадков, климатических индексов на территории Республики Беларусь на период до 2100 г. для различных климатических сценариев. За последние годы подготовлен ряд изданий (монографии, книги), отражающих оценки изменений климатических ресурсов и показателей изменения климата на территории Беларусь за различные периоды [22, 40, 41].

Институт природопользования длительное время обеспечивал научное сопровождение международных обязательств Республики Беларусь по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата и Киотского протокола. В настоящее время институт участвует в научном сопровождении ряда мероприятий: подготовке Национального плана действий в области адаптации к изменению климата; обновлении научно-методического обеспечения образовательных программ высшего образования с целью подготовки кадров в области изменения климата, в том числе метеорологии и климатологии; выполнении «Плана мероприятий по реализации положений Парижского соглашения к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата», утвержденного заместителем Премьер-министра Республики Беларусь М. И. Русым от 03.02.2017 г. № 06/214-23/76.

Список использованных источников

- Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
- Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis / M. Aubinet, T. Vesala, D. Papale (eds.). – Springer, Dordrecht, London, New York, 2012.
- Monson, R. Terrestrial Bio-sphere-Atmosphere Fluxes / R. Monson, D. Baldocchi. – New York : Cambridge University Press, 2014.
- Raut, J.-C. Retrieval of aerosol complex refractive index from a synergy between lidar, sunphotometer and in situ measurements during LISAIR experiment / J.-C. Raut, P. Chazette // Atmospheric Chemistry and Physics. – 2007. – Vol. 7, № 11. – P. 2797–2815.
- Lidar-Radiometer Inversion Code (LIRIC) for the retrieval of vertical aerosol properties from combined lidar/radiometer data: development and distribution in EARLINET / A. Chaikovsky [et. al.] // Atmospheric Measurement Techniques Discussions. – 2015. – Vol. 8, № 12. – P. 12759–12822.
- A methodology for investigating dust model performance using synergistic EARLINET/AERONET dust concentration retrievals / I. Binietoglou [et. al.] // Atmospheric Measurement Techniques. – 2015. – Vol. 8, № 9. –

P. 3577–3600.

7. Lysenko, S. A. Multifrequency Lidar Sounding of Air Pollution by Particulate Matter with Separation into Respirable Fractions / S. A. Lysenko, M. M. Kugeiko, V. V. Khomich // Atmos. Ocean. Opt. – 2016. – Vol. 29, №. 3. – P. 288–297.
8. Lysenko, S. A. Multifrequency Lidar Sensing of Atmospheric Aerosol under Conditions of Information Uncertainty / S. A. Lysenko, M. M. Kugeiko, V. V. Khomich // Atmospheric and Oceanic Optics. – 2016. – Vol. 29, № 6. – P. 516–525.
9. Mu, Q. MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3) Collection 5 / Q. Mu, M. Zhao, S. W. Running // NASA Headquarters. Numerical Terradynamic Simulation Group Publications. – 2013.
10. Running, S. W. User's Guide Daily GPP and Annual NPP (MOD17A2/A3) Products NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm. Version 3.0 For Collection 6 / Q. Mu, S. W. Running // MOD17 User's Guide. – 2015. Oct. 7.
11. Atzberger, C. Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs / C. Atzberger // Remote Sensing. – 2013. – Vol. 5, № 2. – P. 949–981.
12. Клещенко, А. Д. Использование спутниковой информации MODIS в оперативной агрометеорологии / А. Д. Клещенко [и др.] // Современные проблемы ДЗЗ из космоса. – 2015. – Т. 12, № 2. – С. 143–154.
13. Lisenko, S. A. Algorithm for Recovery of Integrated Water Vapor Content in the Atmosphere over Land Surfaces Based on Satellite Spectroradiometer Data / S. A. Lisenko // Journal of Applied Spectroscopy. – 2017. – Vol. 84, № 2.– P. 296–305.
14. Lysenko, S. A. Fast algorithm for retrieval of the atmospheric fine particulate matter maps from the multispectral satellite images / S. A. Lysenko // Atmos. Ocean. Opt. – 2017. – Vol. 30, № 9. – P. 763–774.
15. Advances in Land Remote Sensing. System, Modeling, Inversion and Application / S. Liang (ed.). – Springer Science+Business Media B. V., 2008.
16. Tang, H. Quantitative Remote Sensing in Thermal Infrared: Theory and Applications / H. Tang, Z.-L. Li. – Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2014.
17. Land Surface Temperature Retrieval from MODIS Data by Integrating Regression Models and the Genetic Algorithm in an Arid Region / J. Zhou [et. al.] // Remote Sensing. – 2014. – Vol. 6, № 6. – P. 5344–5367.
18. Lysenko, S. A. Atmospheric correction of multispectral satellite images based on the approximate model of the solar radiation transfer / S. A. Lysenko // Atmos. Ocean. Opt. – 2017. – Vol. 30, № 9. – P. 775–788.
19. Логинов, В. Ф. Изменение климата, экстремальных погодных и климатических явлений и их связь с типами циркуляции атмосферы Северного полушария по Б. Л. Дзердзеевскому / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка, В. С. Микуцкий // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 24. – С. 5–10.
20. Логинов, В. Ф. Анализ однородности рядов температуры, типизация годового хода температуры и выбор годов-аналогов жаркого лета / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 24.– С. 11–16.
21. Логинов, В. Ф. Динамика отрицательных аномалий зимней температуры за последний 60-летний период инструментальных наблюдений / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2016. – Вып. 30. – С. 13–17.
22. Логинов, В. Ф. Изменения климата: тренды, циклы, паузы / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 180 с.
23. Логинов, В. Ф. Изменения климата Земного шара и их возможные причины / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2017. – Т. 61, № 3. – С. 89–96.
24. Парасенок, И. С. Исследования возможных сценариев изменений климата Беларуси на базе ансамблевого подхода / И. С. Парасенок, Б. Гайер, В. И. Мельник // Тр. Гидрометеоролог. науч.-исслед. центра Росгидромета. – 2015. – Вып. 358. – С. 99–111.
25. Partasenok, I. Projection of climate changes in Belarus according to ensemble models / I. Partasenok, B. Geyer, V. Melnik // Multiple drivers for Earth system changes in the Baltic Sea region : Proceedings of the 1st Baltic Earth Conference. – Nida, Lithuania, 2016.
26. Табальчук, Т. Г. Анализ пространственно-временных изменений температуры воздуха на территории Беларуси / Т. Г. Табальчук // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2016. – Вып. 30. – С. 24–32.
27. Логинов, В. Ф. Изменчивость величины трендов температуры в годовом ходе / В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2014. – Вып. 26. – С. 6–10.
28. Коляда, В. В. Связь климатических показателей с географическими координатами метеостанций в условиях Беларуси / В. В. Коляда // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2012. – Вып. 21. – С. 40–51.
29. Шкляр, А. Х. Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве / А. Х. Шкляр. – Минск : Вышэйшая школа, 1973. – 430 с.
30. Коляда, В. В. Биоклиматический потенциал Беларуси в сравнении со странами СНГ и ЕС / В. В. Коляда // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 24. – С. 17–26.
31. Логинов, В. Ф. Пространственное смещение границ климатических областей за последний полувековой период / В. Ф. Логинов, Т. Г. Табальчук // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 47–51.
32. 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.
33. Шашко, Д. И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д. И. Шашко. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 248 с.
34. Логинов, В. Ф. Пространственно-временные изменения биоклиматического потенциала территории Беларуси / В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков // Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. агр. навук. – 2017. – № 1. – С. 42–57.
35. Логинов, В. Ф. Изменения биоклиматического потенциала территории Беларуси за период 1977–2015 гг. / В. Ф. Логинов, М. А. Хитриков // Земледелие и защита растений. – 2017. – № 2. – С. 47–52.

36. Биоклиматический потенциал России: теория и практика / А. В. Гордеев [и др.]. – М. : Изд. дом КМК, 2006. – 516 с.
37. Камышенко, Г. А. Погодные условия Беларуси и урожайность сельскохозяйственных культур / Г. А. Камышенко. – LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken, Germany, 2013. – 158 с.
38. Коляда, В. В. Агроклиматическая оценка продуктивности сельскохозяйственных культур в Беларусь / В. В. Коляда // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 53–60.
39. Логинов, В. Ф. Проблемы повышения адаптивной способности Республики Беларусь к изменениям климата / В. Ф. Логинов, В. В. Коляда // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2015. – Вып. 28. – С. 5–13.
40. Беларусь в Антарктике. К 10-летию начала регулярных экспедиционных исследований / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Беларуская наука, 2016. – 175 с.
41. Атлас опасных метеорологических явлений на территории Беларуси : учеб. пособие / В. Ф. Логинов [и др.]. – М. : ВНИИГиМ, 2016. – 57 с.

References

1. Loginov V. F. *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata: prichiny i sledstviya* [Global and regional changes of climate: reasons and consequences]. Minsk, 2008, 496 p.
2. Aubinet M., Vesala T., Papale D. (Eds.), et al. *Eddy Covariance: A Practical Guide to Measurement and Data Analysis*. London, New York, Springer, Dordrecht, 2012, p.
3. Monson R., Baldocchi D. *Terrestrial Bio-sphere-Atmosphere Fluxes*. New York, Cambridge University Press, 2014.
4. Raut J.-C., Chazette P. Retrieval of aerosol complex refractive index from a synergy between lidar, sunphotometer and in situ measurements during LISAIR experiment. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2007, vol. 7, no. 11, pp. 2797–2815.
5. Chaikovski A., et al. Lidar-Radiometer Inversion Code (LIRIC) for the retrieval of vertical aerosol properties from combined lidar/radiometer data: development and distribution in EARLINET. *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 2015, vol. 8, no. 12, pp. 12759–12822.
6. Binietoglou I., et. al. A methodology for investigating dust model performance using synergistic EARLINET/AERONET dust concentration retrievals. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2015, vol. 8, no. 9, pp. 3577–3600.
7. Lysenko S. A., Kugeiko M. M., Khomich V. V. Multifrequency Lidar Sounding of Air Pollution by Particulate Matter with Separation into Respirable Fractions. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2016, vol. 29, no. 3, pp. 288–297.
8. Lysenko S. A., Kugeiko M. M., Khomich V. V. Multifrequency Lidar Sensing of Atmospheric Aerosol under Conditions of Information Uncertainty. *Atmospheric and Oceanic Optics*, 2016, vol. 29, no. 6, pp. 516–525.
9. Mu Q., Zhao M., Running S. W. *MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product* (NASA MOD16A2/A3) Collection 5. NASA Headquarters. Numerical Terradynamic Simulation Group Publications, 2013.
10. Running S. W., Mu Q. *User's Guide Daily GPP and Annual NPP (MOD17A2/A3) Products NASA Earth Observing System MODIS Land Algorithm*. Version 3.0. For Collection 6. MOD17 User's Guide, 2015. Oct. 7.
11. Atzberger C. Advances in Remote Sensing of Agriculture: Context Description, Existing Operational Monitoring Systems and Major Information Needs. *Remote Sensing*, 2013, vol. 5, no. 2, pp. 949–981.
12. Kleshchenko A. D., et al. Ispol'zovanie sputnikovoy informacii MODIS v operativnoy agrometeorologii [Application of satellite MODIS data in operational agrometeorology]. *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa = Current problems in remote sensing of the Earth from space*, 2015, vol. 12, no. 2, pp. 143–154.
13. Lysenko S. A. Algorithm for Recovery of Integrated Water Vapor Content in the Atmosphere over Land Surfaces Based on Satellite Spectroradiometer Data. *Journal of Applied Spectroscopy*, 2017, vol. 84, no. 2, pp. 296–305.
14. Lysenko S. A. Fast algorithm for retrieval of the atmospheric fine particulate matter maps from the multispectral satellite images. *Atmospheric and oceanic optics*, 2017, vol. 30, no. 9, pp. 763–774.
15. Liang S., et al. *Advances in Land Remote Sensing. System, Modeling, Inversion and Application*. Springer Science + Business Media B.V., 2008.
16. Tang H., Li Z.-L. *Quantitative Remote Sensing in Thermal Infrared: Theory and Applications*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 2014.
17. Zhou J., et al. Land Surface Temperature Retrieval from MODIS Data by Integrating Regression Models and the Genetic Algorithm in an Arid Region. *Remote Sensing*, 2014, vol. 6, no. 6, pp. 5344–5367.
18. Lysenko S. A. Atmospheric correction of multispectral satellite images based on the approximate model of the solar radiation transfer. *Atmospheric and oceanic optics*, 2017, vol. 30, no. 9, pp. 775–788.
19. Loginov V. F., Brovka Y. A., Mikucki V. S. *Izmenenie klimata, ekstremal'nyh pogodnyh i klimaticeskikh yavleniy i ikh sviaz' s tipami tsirkulyatsii atmosfery Severnogo polushariia po B. L. Dzerdzevskому* [Changes of climate, extreme weather and climate events and their connection with types of atmosphere circulation of Northern hemisphere according B. L. Dzerdzevsky]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2013, vol. 24, pp. 5–10.
20. Loginov V. F., Mikucki V. S. Analiz odnorodnosti ryadov temperatury, tipizatsiya godovogo hoda temperatury i vybor godov-analogov zharkogo leta [Analysis of temperature homogeneity, typification of annual temperature course and selection of analogue years of hot summers]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2013, vol. 24, pp. 11–16.

21. Loginov V. F., Mikucki V. S. *Dinamika otricatel'nyh anomalii zimney temperatury za posledniy 60-letniy period instrumental'nyh nabliudenij* [Dynamics of negative anomalies of winter temperatures for the last 60-year period of instrumental observations]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2016, vol. 30, pp. 13–17.
22. Loginov V. F., Mikucki V. S. *Izmeneniya klimata: trendy, cikly, pausy* [Climate changes: trends, cycles, pauses]. Minsk, 2017, 180 p.
23. Loginov V. F., Mikucki V. S. *Izmeneniya klimata Zemnogo shara i ih vozmozhnye prichiny* [Changes of climate of the Earth and possible reasons of them]. *Doklady Nacional'noy akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2017, vol. 61, no. 3, pp. 89–96.
24. Partasenok I. S., Guyer B., Mel'nik V. I. *Issledovaniya vozmozhnyh scenarij izmeneniy klimata Belarusi na baze ansamblevogo podhoda* [Research of possible scenarios of changes of climate of Belarus on the base of ensemble approach]. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo centra Rosiyskoy Federacii = Proceedings of Hydrometeorological Research Centre of Russian Federation*, 2015, no. 358, pp. 99–111.
25. Partasenok I. S., Guyer B., Mel'nik V. I. Projection of climate changes in Belarus according to ensemble models. *Proceedings of the 1st Baltic Earth Conference "Multiple drivers for Earth system changes in the Baltic Sea region"*. Nida, Lithuania, 2016.
26. Tabal'chuk T. G. *Analiz prostranstvenno-vremennih izmenenij temperatury vozduha na territorii Belarusi* [Analysis of spatiotemporal changes of air temperature on the territory of Belarus]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2016, vol. 30, pp. 24–32.
27. Loginov V. F., Tabal'chuk T. G. *Izmenchivost' velichiny trendov temperatury v godovom hode* [Changeability of magnitude of temperature trends in the annual course]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2014, vol. 26, pp. 6–10.
28. Kolyada V. V. *Sviaz' climaticheskikh pokazateley s geograficheskimi koordinatami meteostantciy v usloviyah Belarusi* [Connection of climatic indicators with geographical coordinates of weather stations in the conditions of Belarus]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2012, vol. 21, pp. 40–51.
29. Shkliar A. K. *Climaticheskie resursy Belarusii i ih ispol'zovanie v sel'skom hozaystve* [Climatic resources of Belarus and possibilities of their application in agriculture]. Minsk, 1973, 432 p.
30. Kolyada V. V. *Bioklimaticheskiy potencial Belarusi v srovnennii so stranami SNG i ES* [Bioclimatic potential of Belarus in comparison with the states of CIS and EU]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2013, vol. 24, pp. 17–26.
31. Loginov V. F., Tabal'chuk T. G. *Prostranstvennoe smeshchenie granic climaticheskikh oblastey za posledniy poluvekovoy period* [Spatial displacement of borders of climatic regions over the last 50-year period]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2014, vol. 25, pp. 47–51.
32. Mel'nik V. I. *Vliyanie izmeneniya climata na agroklimaticheskie resursy i produktivnost' osnovnyh sel'skohoziaistvennyh kul'tur Belarusi*. Avtoref. Diss. kand. geogr. Nauk [Influence of climate change on agroclimatic resources and productivity of the main crops of Belarus. Dr. geogr. sci. diss.]. Minsk, 2004.
33. Shashko D. I. *Agroklimaticheskiye resursy SSSR* [Agroclimatic resources of USSR]. Leningrad, 1985, 248 p.
34. Loginov V. F., Khitrykau M. A. *Prostranstvenno-vremenneye izmeneniya bioklimaticheskogo potenciala territorii Belarusi* [Spatiotemporal changes of bioclimatic potential of the territory of Belarus]. *Vesti Nacyanal'naj akademii navuk Belarusi. Serya agrarnyh navuk = Proceedings of the National academy of sciences of Belarus. Agrarian Series*, 2017, no. 1. pp. 42–57.
35. Loginov V. F., Khitrykau M. A. *Izmeneniya bioklimaticheskogo potenciala territorii Belarusi za period 1977–2015 gg.* [Changes of bioclimatic potential of the territory of Belarus over the period from 1977 to 2015]. *Zemledelie i zashchita rastenij = Agriculture and plant protection*, 2017, appendix to no. 2, pp. 47–52.
36. Gordeev A. V., et al. *Bioklimatichesky potencial Rossii: teoriya i praktika* [Bioclimatic potential of Russia: theory and practices]. Moscow, KMK Publishing House, 2006, 516 p.
37. Kamyshenka H. A. *Pogodnye uslovija Belarusi i urozhajnost' sel'skohozjajstvennyh kul'tur* [Weather conditions of Belarus and the productivity of agricultural crops]. LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken, Germany, 2013, 158 p.
38. Kolyada V. V. *Agroklimaticheskaya ocenka produktivnosti sel'skohozyaystvennyh kul'tur v Belarusi* [Agroclimatic estimation of crop productivity]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2014, vol. 25, pp. 53–60.
39. Loginov V. F., Kolyada V. V. *Problemy povyshenija adaptivnoj sposobnosti Respubliki Belarus k izmeneniyam klimata* [Problems of increase of adaptive ability for climate changes of the Republic of Belarus]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2015, vol. 28, pp. 5–13.
40. Loginov V. F., et al. *Belarus v Antarktike. K 10-letiju nachala reguliarnyh ekspeditcionnyh issledovanij* [Belarus in Antarctica. For the 10th anniversary of the beginning of expedition research]. Minsk, 2016, 175 p.
41. Loginov V. F., et al. *Atlas opasnyh meteorologicheskikh yavlenij na territorii Belarusi: uchebnoye posobie* [Atlas of dangerous weather events on the territory of Belarus]. Moscow, 2016, 57 p.

Информация об авторах

Логинов Владимир Федорович – академик, д-р географических наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Лысенко Сергей Александрович – д-р физ.-мат. наук, зав. Центром климатических исследований, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: lysenkofe@gmail.com

Данилович Ирина Сергеевна – канд. геогр. наук, доцент, ст. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: irina-danilovich@yandex.ru

Камышенко Галина Анатольевна – канд. техн. наук, ученый секретарь, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kamyshenka@tut.by

Коляда Валерий Васильевич – науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: valery_v_kalyada@tut.by

Мельник Виктор Иванович – канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: v.melnik2016@mail.ru

Микуцкий Владимир Станиславович – канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: m-vs@tut.by

Табальчук Татьяна Геннадьевна – мл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: t.tabalchuk@gmail.com

Хитриков Максим Александрович – мл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: m.a.hitrykau@gmail.com

Чернышев Виталий Дмитриевич – стажер мл. науч. сотрудника, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: chernush.vitaly@yandex.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, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

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

Irina S. Danilovich – 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: irina-danilivich@yandex.ru

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, Republic of Belarus). E-mail: kamyshenka@tut.by

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

Viktar I. Melnik – 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: v.melnik2016@mail.ru

Vladimir S. Mikutsky – 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: m-vs@tut.by

Tatiana G. Tabalchuk – 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: t.tabalchuk@gmail.com

Maksim A. Hitrykau – 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: m.a.hitrykau@gmail.com

Vitaly D. Chernyshov – Trainee of 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: chernush.vitaly@yandex.ru

ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

УДК 504.054(476)

Поступила в редакцию 29.03.2018

Received 29.03.2018

СВИНЕЦ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ БЕЛАРУСИ

С. В. Какарека

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Статья посвящена анализу уровней содержания свинца в атмосферном воздухе. Приведены статистика содержания свинца в атмосферном воздухе городов и фоновых территорий Беларуси. Показаны внутригодовые различия концентраций свинца и различия в уровнях среднегодовых концентраций между городами Беларуси. Выполнено сравнение наблюдаемых уровней Беларуси с уровнями содержания свинца в атмосферном воздухе на станциях Программы ЕМЕП и в городах стран Европы. Показано, что среднегодовые концентрации свинца в городах и фоновых районах Беларуси сопоставимы с европейскими. Показана связь содержания свинца в воздухе городов с уровнями трансграничного поступления и локальных выбросов. С учетом вариабельности содержаний только для Жлобина можно предположить существование достоверной связи концентраций свинца в воздухе с выбросами металлургического производства в этом городе. В большинстве городов концентрации находятся под значительным воздействием регионального и трансграничного переноса и совокупности локальных источников.

Ключевые слова: свинец; атмосферный воздух; мониторинг; города; трансграничный перенос; источники поступления.

Для цитирования. Какарека С. В. Свинец в атмосферном воздухе Беларуси // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 87–96.

LEAD IN AMBIENT AIR OF BELARUS

S. Kakareka

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

Abstract. The article is devoted to the analysis of lead levels in atmospheric air. The statistics of lead content in the atmospheric air of cities and the background territories of Belarus are given. The intra-annual differences in lead concentrations and differences in average annual concentrations between Belarusian cities are shown. Comparison of observed levels with levels of lead in ambient air at the stations of the EMEP Program and in cities of European countries is performed. It is shown that the average annual concentrations of lead in cities and background regions of Belarus are comparable to those in Europe. The relationship between the lead content in the air of cities with the levels of trans-boundary transmission and local emissions is shown. Taking into account the variability of the lead air concentrations, for Zhlobin only can be assumed the existence of a reliable relationship between lead concentrations in the air and the emissions of metallurgical production in this city. In most cities, concentrations are significantly affected by regional and transboundary transport and a combination of local sources impact.

Key words: lead; atmospheric air; monitoring; cities; transboundary transmission; sources of input.

For citation. Kakareka S. Lead in ambient air of Belarus. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 87–96.

Введение

Свинец является одним из приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха. Поступая в организм человека перорально или ингаляционно, свинец попадает в кровь, что приводит к широкому спектру негативных эффектов, включая поражение центральной нервной системы, сердечно-сосудистой системы и красных кровяных телец [1]. Дети наиболее уязвимы к негативным эффектам свинца.

Нормативы содержания свинца в воздухе установлены во многих странах мира. В Беларуси ПДК максимальная разовая (20-минутная) составляет $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, среднесуточная – $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, среднегодовая – $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (табл. 1) [2]. В Евросоюзе, согласно Директиве 2008/50/ЕС, предельное допустимое содержание свинца, осредненное за год, составляет $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [3]. Это значение совпадает с рекомендованным Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) предельным значением [4].

В США стандарт содержания свинца в атмосферном воздухе впервые установлен в 1978 г. – $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ свинца в твердых взвешенных частицах, среднее трехмесячное. В 2008 г. допустимое содержание было снижено до $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$; в 2016 г. эта норма была сохранена [5].

Таблица 1. Предельные допустимые значения содержания свинца в атмосферном воздухе, принятые в Республике Беларусь, ЕС, США и рекомендованные ВОЗ, $\mu\text{г}/\text{м}^3$ [2–5]

Table 1. Limit permissible values of lead content in atmospheric air, accepted in the Republic of Belarus, EU, USA and recommended by WHO, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [2–5]

Показатель	Рекомендуемое предельное значение (ВОЗ)	Предельно допустимое значение для защиты здоровья человека (ЕС)	Стандарт качества атмосферного воздуха (США)	Предельно допустимая концентрация (Беларусь)		
Период осреднения	1 год	1 год	3 месяца	максимальная разовая	среднесуточная	среднегодовая
Значение, $\mu\text{г}/\text{м}^3$	0,5	0,5	0,15	1	0,3	0,1

Существенно также и воздействие свинца на экосистемы. Оседая с аэрозольными частицами, свинец сорбируется почвенным поглощающим комплексом, поступает в почвенный раствор и подземные воды. Обладая высокой миграционной способностью, свинец поглощается растениями и далее по пищевым цепям мигрирует в организм человека [5]. По имеющимся оценкам площадь экосистем на территории ЕС с превышением критической нагрузки свинца составляет более 12 % [6].

Регулированию поступления свинца в окружающую среду, в том числе в атмосферный воздух, уделяется значительное внимание как на национальном, так и на международном уровне. Базовым документом в отношении свинца в Европе является Протокол по тяжелым металлам 1998 г. к Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, дополненный в 2013 г. [7]. Согласно Протоколу, каждая Сторона принимает на себя ряд обязательств в отношении выбросов тяжелых металлов (в том числе свинца), включая: сокращение объемов выбросов тяжелых металлов по отношению к исходному году путем принятия эффективных мер; применение наилучших имеющихся методов в отношении крупных стационарных источников; установление предельных значений содержания тяжелых металлов в выбросах и ряд других.

Важным условием оценки эффективности принятых обязательств в отношении свинца и контроля соблюдения установленных нормативов качества является проведение мониторинга свинца в атмосферном воздухе. В рамках Женевской конвенции функционирует Программа ЕМЕП, составной частью которой является оценка мониторинга свинца в атмосферном воздухе и атмосферных осадках фоновых территорий. Во многих странах созданы национальные сети станций мониторинга свинца в воздухе, включающие наблюдения в городах. Существует такая система и в Беларуси в рамках НСМОС. Статья посвящена анализу результатов мониторинга свинца в атмосферном воздухе Беларуси в сравнении с результатами мониторинга в Европе.

Свинец в атмосферном воздухе.

Сеть мониторинга свинца в атмосферном воздухе в Беларуси и методы измерений. В настоящее время в рамках НСМОС в Беларуси функционирует одна станция комплексного фонового мониторинга (СКФМ), выполняющая измерения свинца в атмосферном воздухе (Березинский биосферный заповедник). Станция работает в автоматическом режиме; отбираются и анализируются суточные пробы аэрозолей на воздушный фильтр.

С 2003 г. в Беларуси выполняется мониторинг свинца в атмосферном воздухе в городах: анализируются накопленные за месяц аэрозольные фильтры (20-минутный ручной отбор 2–3 раза в сутки). В 2011–2015 гг. мониторинг выполнялся на 33 станциях 19 городов.

Аэрозольные фильтры анализируются на содержание тяжелых металлов методом AAS в г. Минске в аналитической лаборатории Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды.

Большинство станций в городах можно отнести к фоновым по европейской классификации; отдельные станции относятся к промышленным.

Ниже приведен анализ доступной информации о содержании свинца в атмосферном воздухе фоновых территорий и городов за 2011–2015 гг.

Свинец в атмосферном воздухе фоновых районов Беларуси. Замеренные среднесуточные концентрации свинца в атмосферном воздухе на СКФМ Березинский заповедник в 2011–2013 гг. находились в диапазоне 0,1–11,8 $\text{нг}/\text{м}^3$, среднемесечные – 1,0–4,6, среднегодовые – 2,1–2,7 $\text{нг}/\text{м}^3$ (табл. 2).

Мониторинг свинца в рамках Программы ЕМЕП. По Программе ЕМЕП измерения свинца в Европе выполняются с середины 1980-х годов. В 2011–2013 гг. измерения осуществлялись примерно на 40 станциях в 18 странах. Замеренные среднегодовые концентрации составили от 0,08 до 9,24 $\text{нг}/\text{м}^3$ (2011 г. – 0,08–9,24 $\text{нг}/\text{м}^3$, 2012 г. – 0,22–7,52, 2013 г. – 0,17–6,94 $\text{нг}/\text{м}^3$). Преобладают концентрации в диапазоне от 2 до 5 $\text{нг}/\text{м}^3$. Средняя концентрация по всем станциям ЕМЕП составила в 2011 г. 3,4 $\text{нг}/\text{м}^3$, в 2012 г. – 2,9, в 2013 г. – 2,6 $\text{нг}/\text{м}^3$ [8–10] (табл. 3).

**Таблица 2. Среднегодовые концентрации свинца в атмосферном воздухе на станции
Березинский заповедник, нг/м³**

Table 2. Annual average lead concentration in atmospheric air on Berezinsky Reserve station ng/m³

Станция	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Березинский заповедник	2,7	2,3	2,1

Таблица 3. Среднегодовое содержание свинца в воздухе по данным станций ЕМЕП (2011–2013), нг/м³ [8–10]

Table 3. Annual average lead content in the air by the EMEP station data (2011–2013), ng/m³ [8–10]

Страна	2011 г.	2012 г.	2013 г.
Бельгия	7,8	6,4	6,9
Кипр	5,1	4,9	4,3
Чехия	4,4	4,1	4,9
Германия	3,8	3,1	2,8
Дания	0,2	1,4	1,4
Эстония	—	2,3	—
Испания	2,8	1,8	1,9
Финляндия	1,6	2,0	1,4
Франция	4,3	3,6	2,9
Великобритания	3,4	3,0	2,9
Венгрия	8,0	7,5	6,7
Исландия	2,3	0,8	0,7
Латвия	3,3	4,4	2,3
Нидерланды	8,0	6,3	5,4
Норвегия	0,8	0,5	0,5
Польша	5,2	4,4	3,5
Румыния	2,9	1,7	2,3
Швеция	1,2	1,1	0,8
<i>Среднее:</i>	3,4	2,9	2,6

Характерны более высокие средние концентрации свинца в средней и южной частях Европы по сравнению с северной. Эта закономерность отмечена в литературе: так, согласно [8], наименьшие концентрации (менее 1,0 нг/м³) характерны для северных стран, в то время как наиболее высокие уровни замерены в странах Бенилюкса и Венгрии, где концентрации находятся в диапазоне между 6 и 7 нг/м³.

Свинец в атмосферном воздухе городов Беларусь. Диапазон среднемесячных концентраций свинца в атмосферном воздухе городов Беларуси в 2011–2015 гг. – 0,6–462,9 нг/м³. Диапазон среднегодовых концентраций составил за указанный период 5,1–174,1 нг/м³ (рис. 1).

Максимальные среднегодовые концентрации за период отмечены на станциях в Жлобине, Гомеле, Речице, минимальные – в Могилеве, Лиде, Орше.

Средние за 2011–2015 гг. концентрации свинца изменились от 8,7 (Могилев) до 66,9 нг/м³ (Жлобин) при общей средней концентрации 29,0 нг/м³. Города с концентрацией выше средней – Жлобин, Брест, Минск, Речица, Гомель.

Характерны значительные вариации среднегодовых концентраций: преобладающие значения коэффициента вариации среднегодовых концентраций свинца за этот период в основном составляют 15–40 %, в Минске – 80–100 %.

Осредненная по всем городам среднегодовая концентрация свинца в 2011 г. составила 33,3 нг/м³, в 2012 г. – 26,1, в 2013 г. – 26,1, в 2014 г. – 30,7, в 2015 г. – 27,2 нг/м³.

По сравнению со среднегодовыми концентрациями в Березинском заповеднике, среднегодовое содержание свинца в воздухе городов выше в среднем более чем в 10,0 раз.

Максимальные месячные концентрации характерны для апреля-июня, минимальные – для августа-декабря (рис. 2).

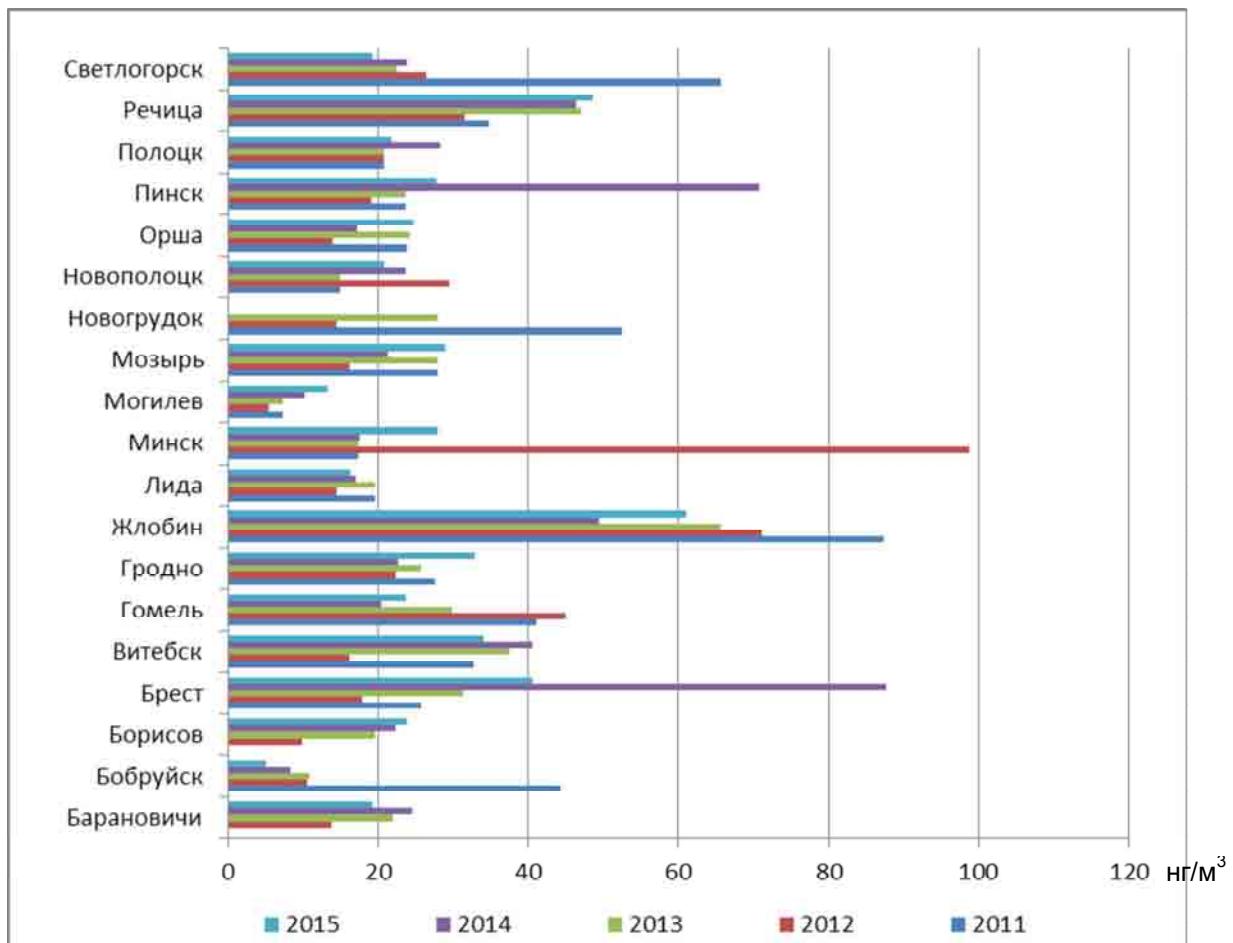


Рис. 1. Среднегодовое содержание свинца в атмосферном воздухе городов Беларуси (2011–2015 гг.), нг/м³

Fig. 1. Annual average lead content in the atmospheric air of the cities of Belarus (2011–2015), ng/m³

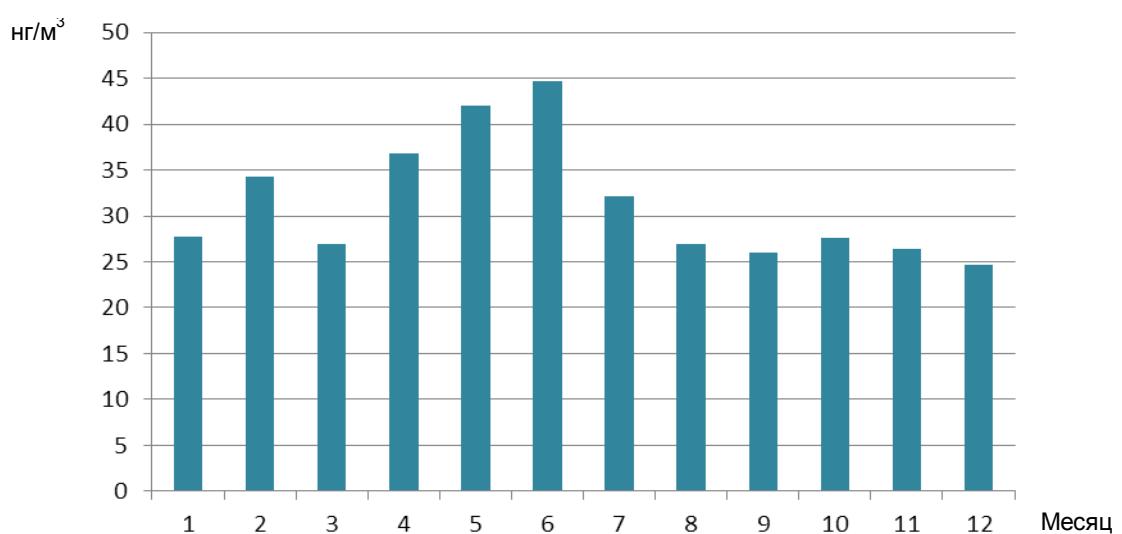


Рис. 2. Внутригодовое распределение содержания свинца в атмосферном воздухе городов Беларуси (2011–2015 гг.), нг/м³

Fig. 2. Intra-annual distribution of lead content in the atmospheric air of the cities of Belarus (2011–2015), ng/m³

Свинец в воздухе городов Европы. В странах Европы мониторинг свинца в атмосферном воздухе проводится более 30 лет. Информация накапливается в базе данных AirBase [11], созданной в соответствии с Решением ЕС. Станции в базе классифицированы в соответствии с требованиями Директивы по типам станций и их местоположению.

Анализ среднегодовых концентраций показал, что характерен большой разброс значений концентраций. Результаты измерений на станциях в таких странах как Болгария, Греция, Мальта, Словения на 1–2 порядка выше, чем результаты измерений в Дании, Эстонии, Ирландии. Можно отметить, что средние замеренные концентрации свинца в воздухе на станциях Польши близки средним концентрациям в городах Беларуси. Так, в 2010 г. средняя концентрация по данным 91 станции составила 32 ng/m^3 , в 2011 г. по данным 79 станций – 27, в 2012 г. по данным 94 станций – 24 ng/m^3 . Прослеживается зависимость концентраций свинца от типа станции и ее местоположения: в целом городские станции характеризуются более высокими средними концентрациями, чем сельские и фоновые (на станциях Польши средняя концентрация за 2007–2012 гг. составила на сельских станциях 17,0 ng/m^3 , пригородных станциях – 22,0, городских станциях – 33,0 ng/m^3). На промышленных станциях концентрация (82,0 ng/m^3) существенно превышала концентрацию на фоновых (28,0 ng/m^3) и транспортных (24,0 ng/m^3) (табл. 4, рис. 3). В то же время неравномерное распределение станций по категориям и большой разброс значений затрудняют выявление четких связей местоположения станций и уровня содержания свинца в воздухе.

Отмечается [12], что в 2014 г. в ЕС отсутствовали станции, на которых бы превышались установленные в ЕС предельные значения содержания свинца; на 97 % станций содержания свинца были меньше нижнего порога измерений (LAT) ($0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Указывается, что в соответствии с Директивами ЕС [2, 13] оценка качества атмосферного воздуха может выполняться без проведения измерений по тому или иному веществу, если концентрации ниже нижнего порога измерений (LAT), который составляет $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ для свинца. Вследствие этого количество станций в Европе, где выполняются измерения как свинца, так и других тяжелых металлов, относительно невелико (в 2014 г. от 447 до 475 станций измеряли содержание As, Cd, Pb, Ni) с минимальной полнотой данных – 14 %. При этом не всегда из отчетной информации ясно, измеряется ли содержание свинца во фракции BЧ10 (как требуют директивы) или в какой-либо другой, или в общей пыли, что затрудняет сопоставление данных.

В целом отмечается, что проблема загрязнения воздуха свинцом, как и другими тяжелыми металлами – As, Cd, Ni, в Европе сильно локализовано, и обычно связана с размещением специфических промышленных предприятий, в основном в южной и средней частях Европы.

Таблица 4. Среднегодовые и 0,95-квантиль содержания свинца в атмосферном воздухе, осредненные по странам и типам местоположения станций (данные AirBase за 2007–2012 гг.), ng/m^3 [11]

Table 4. Annual average and 0,95-quantile lead content in atmospheric air, averaged by countries and by stations location types (AirBase data for 2007–2012), ng/m^3 [11]

Тип местоположения	Сельские		Пригородные		Городские	
	Страна	Среднее	0,95-квантиль	Среднее	0,95-квантиль	Среднее
Австрия	20,0	45,3	–	–	9,0	17,3
Бельгия	–	–	23,0	57,2	–	1000,0
Болгария	4,0	13,6	73,0	237,0	250,0	944,0
Кипр	6,0	17,0	–	–	10,0	25,7
Чешская Республика	6,0	18,4	13,0	31,0	151,0	324,9
Дания	3,0	10,8	–	–	5,0	14,1
Эстония	4,0	9,8	–	–	9,0	19,8
Греция	–	–	–	–	527,0	1900,0
Ирландия	0,0	0,0	9,0	18,6	9,0	16,3
Мальта	900,0	1606,3	–	–	1784,0	5561,9
Нидерланды	–	19,2	–	21,7	9,0	24,3
Польша	17,0	51,4	22,0	63,2	33,0	87,1
Португалия	–	–	–	–	2,0	3,8
Румыния	18,0	63,8	28,0	82,5	78,0	233,1
Словакия	–	–	43,0	116,0	41,0	128,3
Словения	3,0	9,0	291,0	624,0	951,0	2139,1
Испания	4,0	10,4	10,0	25,5	15,0	36,0
Среднее	20,0	44,4	19,0	50,3	89,0	239,0

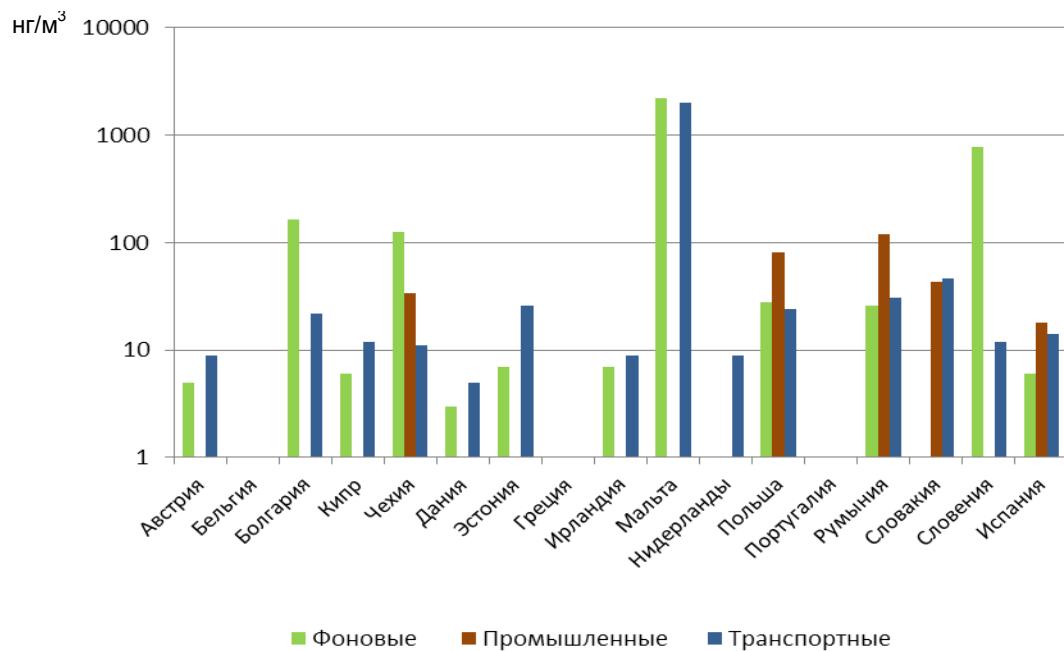


Рис. 3. Среднегодовые содержания свинца в атмосферном воздухе стран ЕС, осредненные по странам и типам станций (данные AirBase за 2007–2012 гг.) [11], нг/м³

Fig. 3. Annual average lead content in the atmospheric air of EU countries, averaged by countries and stations types (AirBase data for 2007–2012) [11], ng/m³

Согласно оценкам [14], доля городского населения стран EU-27, подвергающегося воздействию концентраций свинца в атмосферном воздухе выше контрольных значений, установленных ЕС и ВОЗ (0,5 $\mu\text{г}/\text{м}^3$ средняя годовая), в 2009–2011 г. составила < 1 %. В то же время обращается внимание на ошибки и пробелы в предоставленных некоторыми странами данных, а также относительно малое количество станций, проводящих измерения тяжелых металлов в атмосферном воздухе и преобладание коротких рядов наблюдений, что затрудняет анализ трендов.

Связь содержания свинца в атмосферном воздухе с трансграничным переносом и локальными выбросами.

Тренды содержания свинца в атмосферном воздухе Европы. По данным оценочного отчета Программы ЕМЕП (2016) [15], общее сокращение содержания свинца в атмосферном воздухе Европы по данным моделирования составило за период с 1990 по 2012 г. 78 %. При этом за первую половину периода (1990–2001 гг.) сокращение составило 56 %, за вторую (2002–2012 гг.) – 50 %. Для стран ЕС отмечено более значительное сокращение концентраций (80 %), и менее значительное – для стран ВЕКЦА (76 %); в некоторых странах отмечен рост (расчетных) концентраций.

Тренды концентраций свинца в атмосферном воздухе зависят от многих факторов, включая изменения антропогенных и вторичных выбросов, климатических трендов, изменения в землепользовании и т. д. Согласно модельным расчетам, основной вклад в тренды тяжелых металлов вносят изменения выбросов; кроме того, значительное влияние оказывают изменения вкладов национальных и трансграничных источников. Согласно расчетам, сокращение антропогенных выбросов свинца в 1990–2012 гг. привело к сокращению расчетных выпадений свинца почти на 90 %, однако реальное сокращение выпадений было меньше. Различия обусловлены значительным вкладом вторичных источников в уровень загрязнения, для которых сокращение составило около 50 %.

Сравнение замеренных и расчетных концентраций свинца для 19 станций ЕМЕП с длинным рядом наблюдений показало, что среднегодовое замеренное сокращение составляет около 9 % в год, расчетное – около 7; замеренные выпадения сокращаются примерно на 7, расчетные – на 8 % в год. Темпы сокращения более высоки в Западной Европе по сравнению с Восточной Европой [15].

Проведенные исследования показали, что состояние воздушной среды Беларуси, как и многих других стран, атмосферные воздействия на почвы, воды, экосистемы в существенно большей степени определяются трансграничным поступлением загрязняющих веществ, чем выбросами от «собственных» источников. Так, по оценкам центров Программы ЕМЕП, доля трансграничной составляющей в выпадениях свинца на территорию Беларуси составляет около 60 % (в 2013 г. – 57 %, в 2014 г. – 61, в 2015 г. – 67 %). Основной вклад в поступление свинца принадлежит странам-соседям:

Польше, Украине, России. Значителен также вклад и более удаленных от Беларуси стран (табл. 5). В связи с этим интерпретация замеренных концентраций на станциях НСМОС требует детального анализа.

В настоящее время основными источниками информации о выбросах свинца на территории Беларуси являются:

- данные статистической отчетности о выбросах по форме 1-с (воздух);
- данные отчетов в Программу ЕМЕП [17].

Статистическая информация о выбросах свинца по отраслям производства в Беларуси в 2011–2015 гг. по данным Национального статистического комитета приведена в табл. 6.

Таблица 5. Источники и уровни поступления свинца с атмосферным переносом на территорию Беларуси (2013–2015 гг.), т [16]

Table 5. Sources and levels of lead admission with atmosphere transfer to the territory of Belarus (2013–2015), t [16]

Страна	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Беларусь	23,81	22,72	16,64
Польша	17,45	16,86	21,00
Украина	2,22	2,40	1,82
Россия	0,31	3,70	1,78
Германия	1,32	1,45	2,02
Словакия	–	1,42	1,20
Италия	1,09	1,04	0,73
Литва	0,35	0,27	0,40
Турция	0,40	0,64	0,87
Румыния	0,58	0,60	0,47
Болгария	0,60	1,31	0,46
Чехия	0,25	0,41	0,37
Австрия	0,16	0,17	0,16
Босния и Герцеговина	0,13	0,36	0,22
Эстония	0,65	0,39	0,38
Испания	0,17	0,25	0,30
Франция	0,30	0,29	0,36
Великобритания	0,15	0,16	0,29
Латвия	0,08	0,11	0,15
Венгрия	0,10	0,10	0,12
Прочие	4,68	3,47	1,66
Всего	54,78	58,13	51,42

Таблица 6. Выбросы свинца в атмосферу на территории Республики Беларусь в 2011–2014 гг. по данным Национального статистического комитета, т

Table 6. Lead emissions into the atmosphere on the territory of the Republic of Belarus in 2011–2014 by the data of the National Statistic Committee, t

Источник	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Промышленность:	5,365	4,759	5,062	5,038
производство кокса, нефтепродуктов и ядерных материалов	0,004	0,356	0,649	0,554
химическое производство	0,002	0,041	0,114	0,343
производство прочих не металлических минеральных продуктов	4,855	3,787	1,677	0,769
металлургическое производство и производство готовых металлических изделий	0,365	0,177	2,273	2,401
производство машин и оборудования	0,012	0,067	0,068	0,489
производство электрооборудования, электронного и оптического оборудования	0,056	0,070	0,112	0,113
производство транспортных средств и оборудования	0,043	0,030	0,046	0,145
прочие отрасли промышленности	0,040	0,069	0,078	–
Транспорт и связь	0,142	0,140	0,149	0,153
Прочие отрасли	0,017	0,006	0,019	–
Всего:	5,524	4,905	5,223	5,223

Согласно статистическим данным, 97 % выбросов свинца поступают от промышленности, 45 % из них – от металлургического производства и производства готовых металлических изделий и 33 % – от производства прочих неметаллических минеральных продуктов.

Статистические данные доступны в разрезе страны в целом и административных областей. Первичные формы статистического учета выбросов имеют ограниченную доступность; электронная система (регистр) выбросов (РВПЗ) пока отсутствует. Это осложняет выявление связей замеренных концентраций свинца в атмосферном воздухе.

Данные отчетов в Программу ЕМЕП. Ежегодные отчеты о выбросах в Программу ЕМЕП базируются на расчетах с использованием удельных показателей и данных о деятельности, дополненных статистическими данными по некоторым секторам. Информация предоставляется в разрезе секторов НПО, и по сетке ЕМЕП – до 50×50 км и 10×10 км (раз в 5 лет). Данные за 2014 и 2015 г. приведены в табл. 7.

В целом расчетные данные о выбросах свинца выше статистических на 50–60 %. Расчет позволил определить в качестве крупнейших источников выбросов свинца металлургическое производство, цементное производство, производство стекла (в первую очередь хрустального).

Как показано выше, прямые корреляции значений концентраций свинца в выбросах с источниками затруднены из-за множества факторов, обуславливающих уровни концентраций. Однако можно предположить достоверную связь стабильно повышенных концентраций свинца в Жлобине с металлургическим производством в этом городе. Для установления факторов, обуславливающих концентрации свинца в других городах, необходимы дальнейшие исследования.

Выводы

- Показана сходимость результатов фонового мониторинга свинца в Беларуси (СКФМ Березинский заповедник), составивших в 2011–2013 гг. $2,1\text{--}2,7$ нг/м³, и мониторинга по Программе ЕМЕП (средние годовые концентрации в 2011–2013 гг. $2,6\text{--}3,4$ нг/м³).

- Сравнение значений среднего содержания свинца в атмосферном воздухе в городах Беларуси и стран ЕС показало, что результаты измерений свинца в городах Беларуси укладываются в диапазон среднегодовых концентраций стран Европы. Однако необходимо учитывать методические различия мониторинга свинца в Беларуси и ЕС: в Беларуси измеряется содержание свинца в общей пыли, в ЕС согласно требованиям Директив ЕС, – в ВЧ10.

- Выявлена высокая вариабельность концентраций свинца в воздухе в городах Беларуси, характерная и для стран ЕС.

- С учетом вариабельности содержаний только для Жлобина можно предположить существование достоверной связи концентраций свинца в воздухе с выбросами металлургического производства в этом городе. В большинстве городов концентрации находятся под значительным воздействием регионального и трансграничного переноса и совокупности локальных источников.

Таблица 7. Выбросы свинца в атмосферу на территории Республики Беларусь в 2014–2015 гг. по данным отчетов Программу ЕМЕП [17], т

Table 7. Lead emissions into the atmosphere on the territory of the Republic of Belarus in 2014–2015 by the data of EMEP Program Reports [17], t

Сектор	Код сектора	2014 г.	2015 г.
Энергетика	1A1a	0,114	0,123
Сжигание топлива в жилищно-коммунальном хозяйстве	1A4ai	0,115	0,134
Бытовое сжигание топлива	1A4bi	0,101	0,084
Нефтеперерабатывающая промышленность	1A1b	0,426	0,479
Производство чугуна и стали	1A2a, 2C1	4,860	4,367
Производство минеральных продуктов	1A2f	3,023	3,048
Дорожный транспорт: легковые автомобили	1A3bi	0,058	0,05
Дорожный транспорт: грузовые автомобили и автобусы	1A3biii	0,063	0,059
Железнодорожный транспорт	1A3c	0,011	0,010
Внедорожный транспорт в сельском, лесном хозяйстве и других отраслях	1A4cii	0,037	0,033
Международная авиация	1A3ai(i)	0,002	0,002
Сжигание отходов	5C1biii	0,011	0,011
Всего:	–	8,821	8,4

5. Целесообразен переход от измерений свинца в месячных пробах к суточным, что позволит повысить объем информации о содержании свинца в воздухе городов Беларуси. Это наиболее актуально для городов с высокими концентрациями.

Благодарности

Выражаю признательность Государственному учреждению «Республиканский Центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» за предоставленные данные мониторинга свинца в атмосферном воздухе.

Acknowledgements

Acknowledgements for State Institution "Republican Center for Hydrometeorology, the Control of Radioactive Pollution and Environmental Monitoring" for provided data on lead monitoring in atmospheric air.

Список использованных источников

1. Toxicological profile for lead. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry. 1999. – 640 р.
2. Об утверждении нормативов 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 : постановление Министерства здравоохранения Респ. Беларусь от 30.12.2010 г. № 186.
3. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.
4. Air Quality Guidelines for Europe Second Edition. WHO, 2000.
5. National ambient air quality standards for lead. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.epa.gov/lead-air-pollution/national-ambient-air-quality-standards-naaqs-lead-pb>. – Date of access: 26.10.2017.
6. Slootweg, J., Maximilian, P. and Hettelingh, J. (eds). Progress in the modelling of critical thresholds and dynamic modelling, including impacts on vegetation in Europe, CCE Status Report No 680359001, 2010, Coordination Centre for Effects, Bilthoven, Netherlands.
7. Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution on heavy metals with amendments adopted at the 31st session of the Executive Body 13 December 2013.
8. Aas W., Breivik K. Heavy metals and POP measurements, 2011. EMEP/CCC-Report 4/2013.
9. Aas W., Nizzetto P. B. Heavy metals and POP measurements, 2012. EMEP/CCC-Report 4/2014.
10. Aas W., Nizzetto P. B. Heavy metals and POP measurements. 2013. EMEP/CCC-Report 3/2015.
11. AirBase – The European air quality database [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/aqereporting-2>. – Date of access: 25.10.2017.
12. Air quality in Europe – 2016 report // EEA Report No 28/2016. – 83 р.
13. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air (OJ L 23, 26.1.2005, pp. 3–16).
14. Guerreiro C., Foltescu V., de Leeuw F. Air quality status and trends in Europe // Atmospheric Environment. – 2014. – № 98. – P. 376–384.
15. Air pollution trends in the EMEP region between 1990 and 2012. Joint Report of the EMEP Task Force on Measurements and Modelling (TFMM), Chemical Co-ordinating Centre (CCC), Meteorological Synthesizing Centre-East (MSC-E), Meteorological Synthesizing Centre-West (MSC-W). EMEP/CCC-Report 1/2016.
16. EMEP-MSCE data of heavy metals for the EMEP region [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.msceast.org/index.php/pollution-assessment/emep-domain-menu/data-hm-pop-menu>. – Date of access: 26.04.2017.
17. WebDab – EMEP database [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/. – Date of access: 26.04.2017.

References

1. Toxicological profile for lead. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 1999, 640 p.
2. Postanovlenije Ministerstva zdravooхранenija Respubliki Belarus ot 30.12.2010 № 186 "Ob utverzhdenii normativ predelno dopustimih koncentracij zagrjaznjauschih vechestv v atmosfernem vozduhe i orientirovchno bezopasnih urovnej vozdeistvija zagrjaznjauschih vechestv v atmosfernem vozduhe naselennih mest i mest massovogo otdiha naselenija [The decree of the Ministry of Health Care of the Republic of Belarus No. 186 30/12/2010 "On the approval of standards for maximum permissible concentrations of pollutants in ambient air and for the approximately safe levels of exposure to pollutants in the air of settlements and places for mass recreation of the population"].

3. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe.
4. Air Quality Guidelines for Europe Second Edition. WHO, 2000.
5. National ambient air quality standards for lead. Available at: <https://www.epa.gov/lead-air-pollution/national-ambient-air-quality-standards-naaqs-lead-pb> (Accessed 26 October 2017).
6. Slootweg, J., Maximilian, P. and Hettelingh, J. (eds). Progress in the modelling of critical thresholds and dynamic modelling, including impacts on vegetation in Europe, CCE Status Report no. 680359001, 2010, Coordination Centre for Effects, Bilthoven, Netherlands.
7. Protocol to the 1979 Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution on heavy metals with amendments adopted at the 31st session of the Executive Body 13 December 2013.
8. Aas W., Breivik K. Heavy metals and POP measurements, 2011. EMEP/CCC-Report 4/2013.
9. Aas W., Nizzetto P. B. Heavy metals and POP measurements, 2012. EMEP/CCC-Report 4/2014.
10. Aas W., Nizzetto P. B. Heavy metals and POP measurements, 2013. EMEP/CCC-Report 3/2015.
11. AirBase – The European air quality database. Available at: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/aqereporting-2> (Accessed 25 October 2017).
12. Air quality in Europe – 2016 report. EEA Report No 28/2016, 83 p.
13. Directive 2004/107/EC of the European Parliament and of the Council of 15 December 2004 relating to arsenic, cadmium, mercury, nickel and polycyclic aromatic hydrocarbons in ambient air. OJ L 23, 26.1.2005, pp. 3–16.
14. Guerreiro C., Foltescu V., de Leeuw F. Air quality status and trends in Europe, *Atmospheric Environment* 2014, no. 98, pp. 376–384.
15. Air pollution trends in the EMEP region between 1990 and 2012. Joint Report of the EMEP Task Force on Measurements and Modelling (TFMM), Chemical Co-ordinating Centre (CCC), Meteorological Synthesizing Centre-East (MSC-E), Meteorological Synthesizing Centre-West (MSC-W). EMEP/CCC-Report 1/2016.
16. EMEP-MSCE data of heavy metals for the EMEP region. Available at: <http://www.msceast.org/index.php/pollution-assessment/emep-domain-menu/data-hm-pop-menu> (Accessed 26 April 2017).
17. WebDab – EMEP database. Available at: http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/ (Accessed 26 April 2017).

Информация об авторе

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

Information about the author

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, Republic of Belarus). E-mail: sk001@yandex.ru

ПРОЕКЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ СРЕДНИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСТРЕМАЛЬНОСТИ ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА К СЕРЕДИНЕ ХХІ ВЕКА В УКРАИНЕ

В. А. Балабух, Л. В. Малицкая, С. Н. Ягодинец, Е. Н. Лавриненко

Украинский гидрометеорологический институт ГСЧС и НАН Украины, Киев, Украина

Аннотация. В статье рассмотрено вероятное изменение термического режима в Украине до середины ХХІ в. при реализации сценария SRES A1B. Приведены результаты оценки изменения климатических средних и показателей экстремальности термического режима к середине ХХІ в. (2021–2050 гг.) относительно современного климатического периода (1981–2010 гг.). Данные представлены для всех областей Украины и страны в целом. Приведена оценка значимости и достоверности выявленных изменений и определены возможные значения новой климатической нормы показателей в середине века. Проекции построены по ежедневным данным региональной климатической модели REMO-ECHAM5. Представлены оценки верификации модели для средних по области многолетних значений климатических показателей и их тенденций.

Результаты исследований показали, что к середине ХХІ в. при реализации сценария SRES A1B в Украине ожидается дальнейшее повышение приземной температуры воздуха, которое может привести к существенному изменению климатической нормы характеристик термического режима на всей территории страны, и, особенно, в южных и восточных областях. Ожидается увеличение средних многолетних значений минимальной, максимальной и средней за год и сезон температуры воздуха, количества теплых, летних и жарких дней, тропических ночей, дней, благоприятных для вегетации и с активной вегетацией, увеличение продолжительности жаркого периода. К середине ХХІ в. в Украине также может уменьшиться количество морозных дней, дней с минимальной температурой ниже -10°C и -20°C и максимальная продолжительность периодов с такой температурой. Уменьшится и количество дней, нуждающихся в отоплении. Эти изменения необходимо учитывать при разработке стратегий и планов развития регионов и отраслей экономики, усовершенствовании законодательной и нормативно-правовой базы.

Ключевые слова: изменение климата; климатические проекции; температура воздуха.

Для цитирования. Балабух В. А., Малицкая Л. В., Ягодинец С. Н., Лавриненко Е. Н. Проекции изменения и ожидаемые значения климатических средних и показателей экстремальности термического режима к середине ХХІ века в Украине // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 97–113.

PROJECTIONS OF CHANGES CLIMATIC MEAN AND EXTREME PARAMETERS OF THERMAL REGIME BY THE MIDDLE OF THE 21ST CENTURY IN UKRAINE

V. Balabukh, L. Malytska, S. Yagodinets, L. Lavrinenko

*Ukrainian Hydrometeorological Institute, The State Emergency Service of Ukraine,
The National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Abstract. The article presents the results of assessment of the ability of regional climate model REMO-ESNAM5 to describe sudden changes in the thermal regime in Ukraine. It was established, that during the period of significant change in climate system state (1981–2010) REMO-ECHAM5 adequately recreates the seasonal and spatial distribution of air temperature and variation in the average long-term values of climatic parameters of the thermal regime in Ukraine. The errors increase from north-west to south and south-east and depend by the season. REMO-ESNAM5 significantly worse shows the trend of the climatic indicators. That is why it is advisable to assess the possible changes in the thermal regime over the country by analyzing their average long-term values. Based on REMO-ECHAM5 data the projections of changes of climatic mean and extreme parameters of thermal regime were determined for the period 2021–2050 relatively to recent climatic period (1981–2010). The significance of the change was evaluated according to Student's criterion (t-test). The assessment was carried out for all regions and over Ukraine for the scenario SRES A1B. The possible values of selected indicators were determined by the middle of the XXI century.

The results showed that by the middle of the XXI century if scenario SRES A1B will be realized in Ukraine the further increasing of surface air temperature is expected. It will lead to significant change in the climatic norm of the thermal regime characteristics throughout the country, and especially in the southern and eastern regions. It is expected that the mean long-term values of the minimum, maximum and average per year and season air temperature, the number of warm, summer and hot days, tropical nights, days favorable for vegetation and active vegetation, duration of warm period will increase.

By the middle of the XXI century the number of frosty days, days with minimum temperatures below -10°C and -20°C and the maximum duration of periods with such thermal conditions in Ukraine can also reduce. The number of days

that need heating will decrease. These changes must be taken into account in developing strategies and development plans, specifications and technical base of various industries. The influence of weather conditions on the different sectors of human activity and the environment will also increase that already now requires development of steps for adaptation and mitigation there negative impact. At the same time we should use the new potential opportunities that open up.

Key words: climate change; climate projections; air temperature.

For citation. Balabukh V., Malytska L., Yagodinets S., Lavrinenco L., Krakovska S. V. Projections of changes climatic mean and extreme parameters of thermal regime by the middle of the 21st century in Ukraine. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 97–113.

Введение. Ратификация Украиной Парижского соглашения и дальнейшая имплементация ее положений нуждаются в научно обоснованной информации о фактических и ожидаемых изменениях климата и их последствиях, определении рисков и уязвимости к изменению климата на уровне регионов, областей, территориальных общин, секторов экономики. Для принятия управленческих решений относительно предотвращения изменения климата и адаптации к нему необходима достоверная информации о климатических прогнозах на средне- и долгосрочную перспективу. Разработка региональных Стратегий адаптации к изменению климата и планов их реализации нуждается в информации не только о фактическом и ожидаемом изменении средних многолетних значений приземной температуры воздуха, но и в данных о других климатических показателях, которые характеризуют термический режим. Прежде всего, это показатели его экстремальности, изменчивости, данные о точности и достоверности проекций их изменения. Под проекциями климата, согласно Межправительственной группе экспертов по изменению климата (МГЭИК), подразумевают реакцию климатической системы на сценарии выбросов, концентраций парниковых газов и аэрозолей или на сценарии радиационного влияния [1]. Проекции климата зависят от использованного сценария и, соответственно, от предположений относительно будущего социально-экономического и технологического развития, которые имеют значительную неопределенность. Кроме того, разработка вышеупомянутых документов нуждается в оценке возможных изменений климата в определенный период относительно современного климатического периода (1981–2010 гг.), на протяжении которого отмечаются наиболее существенные изменения в климатической системе. Эти изменения по своей интенсивности являются беспрецедентными не только в течение последнего века, но даже последнего тысячелетия [2]. Поэтому оценка способности климатических моделей описать резкие изменения состояния климатической системы является очень важной и актуальной задачей, не только прикладной климатологии, но и численного моделирования климата. При этом оценка достоверности проекций средних многолетних значений климатических показателей, значимости их изменения и, особенно, изменения климатической нормы является необходимым условием разработки стратегий адаптации к изменению климата и планов их реализации для конкретных регионов.

Основным инструментом, который позволяет получить проекции климатических показателей на средне- и долгосрочную перспективу являются численные региональные климатические модели (РКМ), которые имеют свои недостатки и преимущества в различных регионах. С каждым годом количество таких моделей увеличивается, что требует оценки адекватности их отображения состояния климатической системы в регионах, в том числе и в Украине, выявления их региональных особенностей и возможности использования для анализа и прогноза региональных климатических изменений.

Верификацию региональных климатических моделей для территории Украины проведено С. В. Krakovskoy и др. [3–5]. Авторы анализировали результаты расчетов РКМ, представленные в рамках Европейского проекта *Ensemble-based Predictions of Climate Changes and their Impacts (FP-6 ENSEMBLES)* для сценария *SRES A1B* [6]. Исследовали, прежде всего, многолетние среднегодовые и месячные значения приземной температуры воздуха и количества осадков на территории Украины и в отдельных ее регионах. Для верификации моделей использовали данные базы *E-OBS*, разработка которой также осуществлялась в рамках проекта *ENSEMBLES* [7]. Основой базы *E-OBS* являются данные наблюдений европейских метеорологических станций, которые интерполируются в узлы регулярной сетки с шагом 25 км, которая совпадает с координатной сеткой РКМ. В качестве базового периода для верификации модельных расчетов и оценки возможных климатических изменений авторы использовали периоды 1961–1990 и 1971–2000 гг. Полученные результаты свидетельствуют, что наиболее адекватно пространственное и сезонное распределение температуры и осадков в Украине описывает модель *REMO*, разработанная в Институте метеорологии Макса-Планка (Германия) [8–12]. Она имеет наименьшие абсолютные и среднеквадратичные погрешности как для средней за год и месяц приземной температуры воздуха, так и для количества осадков в Украине, к тому же может использоваться для анализа и оценки возможного изменения климата в ее регионах [3].

Модель *REMO* успешно используется для моделирования регионального климата не только Европы, но и Индии, Аргентины и других регионов и является одной из ведущих в четвертом оценочном отчете МГЭИК [1, 11]. Такому успеху разработчики обязаны тем, что в модели учтены радиационные и тепловые потоки, особенности подстилающей поверхности и орографии, а также годовой ход

альбедо, растительности, снежного покрова и другие факторы, которые влияют на состояние атмосферы. Последние версии *REMO* достигли значительного успеха при моделировании процессов облако- и осадкообразования, особенно в холодный период [8].

В Украине модель *REMO* успешно использовалась для изучения сильных осадков и наводнений в Карпатах, для оценки уязвимости к экстремальным паводкам и изменению климата в бассейне р. Днестра. Проведенные исследования позволили разработать Стратегические направления адаптации бассейна р. Днестра к изменению климата и План их внедрения [13–15]. За данными *REMO* проведена оценка изменения климата водно-болотных и лесных экосистем Украинского Полесья [16, 17]. Результаты расчетов РКМ *REMO* были также использованы для разработки Стратегии адаптации к изменению климата Раховского района Закарпатья в рамках реализации Программы трансграничного сотрудничества Европейского Инструмента Соседства и Партнерства (ТГС ЕИСП) Венгрия–Словакия–Румыния–Украина [18].

Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных проблеме изменения климата в Украине на протяжении последних десятилетий, эти работы касаются преимущественно годовых и средних за месяц данных некоторых параметров климатической системы для отдельных регионов страны и для Украины в целом. Построение проекций изменения климата в Украине также проводилась главным образом для средних за год и месяц значений температуры воздуха и сумм осадков. Эти расчеты осуществлялись преимущественно за данными глобальных климатических моделей, которые имеют небольшую разрешающую способность и не могут выявить региональные особенности изменения климата. Использование региональных климатических моделей позволило получить такие данные для некоторых климатических характеристик и отдельных регионов Украины [19–23]. Проведена оценка ожидаемых изменений, но оценка неопределенности изменения климатических параметров не проводилась. Полученные результаты сложно согласовать между собой, поскольку результаты этих исследований касаются разных периодов различной продолжительности, в том числе и базовых, и проведены для разных сценариев *SRES*. Данных о возможных изменениях экстремальных и опасных явлений погоды также очень мало, особенно в регионах страны.

Цель работы – исследовать вероятное изменение термического режима в областях Украины до середины XXI в. при реализации сценария *SRES A1B*.

Для реализации этой цели были решены следующие задачи:

- проведена верификация проекций региональной климатической модели *REMO-ECHAM5* средних по области многолетних значений климатических показателей и их тенденций;
- проведена оценка проекций изменения средних по области многолетних значений климатических показателей термического режима к середине XXI в. (2021–2050 гг.) относительно современного климатического периода (1981–2010 гг.), их значимости и достоверности;
- определены возможные значения новой климатической нормы показателей термического режима в середине XXI в. для всех областей Украины и страны в целом.

Материалы и методы исследований. Достоверность оценки проекций изменения климата и возможных многолетних средних значений его показателей к середине XXI ст. в значительной мере обусловлена способностью региональных климатических моделей адекватно отображать состояние климатической системы и ее изменение. Стандартной процедурой для оценки численных моделей прогноза погоды является сравнение прогностических данных с данными наблюдений в определенный момент времени. Такой анализ, как правило, выполняют для ограниченного количества ключевых прогностических характеристик атмосферы с помощью ряда критериев [24, 25]. Тем не менее при оценке климатических моделей такую методологию невозможно применить, поскольку прогностические расчеты делают на десятки, а иногда и сотни лет, и прямые сравнения полученных результатов с данными наблюдений невозможны. Кроме того, эти расчеты не являются прогнозом в полном понимании этого слова, а лишь проекцией возможного состояния климатической системы, которая определяется согласно разным сценариям развития человечества или сценариев радиационного влияния и, соответственно, выбросов парниковых газов, вероятность которых не определена.

Сравнивать данные расчетов климатической модели с данными наблюдений осредненных за определенный месяц, сезон и даже год также нецелесообразно. Поскольку речь идет не о погоде, а о климате, можно сравнивать лишь средние значения за многолетние периоды. Некорректным также является сравнение результатов расчетов РКМ в узле сетки модели с наблюдениями ближайшей метеостанции, поскольку репрезентативность этих данных разная. Поэтому при оценке климатических моделей или данные наблюдений интерполируют в узлы регулярной сетки, или данные расчетов интерполируют в точки с координатами пунктов наблюдений, сравнивают между собой полученные однотипные данные и получают интегральные оценки по определенному региону. Поскольку в конечном итоге необходимо анализировать средние многолетние значения климатических показателей по региону/области за разные климатические периоды (как прогностические, так и фактические), представ-

ленные в разных источниках, целесообразно использовать последний алгоритм, который позволяет избежать двойной интерполяции и получить данные, соизмеримые с полученными ранее результатами. Кроме того, представленные в базе *E-OBS* ежедневные данные метеорологических наблюдений отображают лишь 30–50 % фактических данных наблюдений в Украине и их количество очень варьирует из года в год, особенно с 1991 г. Поэтому использовать данные этой базы для оценки региональных изменений климата в Украине нужно очень осторожно, в зависимости от поставленной задачи, несмотря на то, что они нашли широкое применение в других странах, данные наблюдений которых более детально представлены в этой базе.

Верификацию проекций показателей термического режима проводили за данными наблюдений и данными региональной климатической модели *REMO*, инициированной расчетом глобальной модели *ECHAM5* за 1981–2010 гг. Оценивали способность модели отображать изменение средних многолетних значений показателей и их тренд для всех областей Украины в период наиболее интенсивного изменения состояния климатической системы (1981–2010 гг.). Верификацию РКМ осуществляли по ежедневным данным гидрометеорологической сети наблюдений Украины (187 пунктов) и результатам климатического моделирования *REMO-ECHAM5* для сценария *SRES A1B* (шаг 25×25 км), результаты которого интерполировались в точки с координатами метеостанций. По этим данным вычисляли средние по области значения климатических показателей за год и сезон, скорость изменения (коэффициент линейного тренда), минимальные и максимальные значения на протяжении исследуемого периода. Рассчитывали коэффициент корреляции Пирсона (r) между полученными средними по области фактическими и прогнозистическими значениями характеристик термического режима и сравнивали между собой их значения, а также направление и скорость изменения в исследуемый период. Для каждой области и Украины в целом определяли погрешности прогнозирования средних многолетних значений климатических характеристик и тенденцию их изменения.

Оценку возможных изменений термического режима в Украине проводили для сценария *A1B*. Согласно Специальному докладу МГЭИК, сценарий *A1B* принадлежит к сюжетной линии и сценарной семье *A1* для которой характерно быстрое внедрение новых и более эффективных технологий, интенсивный экономический рост, сопровождающийся увеличением глобального населения до середины XXI в. с последующим уменьшением. При этом сценарий *A1B* предусматривает сбалансированное развитие ископаемых видов топлива и альтернативных источников энергии. Вероятно, это наиболее реалистичный сценарий развития общества, поэтому он и был выбран для анализа.

Оценку возможных изменений термического режима в Украине проводили для сценария *A1B*. Согласно Специальному докладу МГЭИК сценарий *A1B* принадлежит к сюжетной линии и сценарной семье *A1* для которой характерно быстрое внедрение новых и более эффективных технологий, интенсивный экономический рост, сопровождающийся увеличением глобального населения до середины века с последующим уменьшением. При этом сценарий *A1B* предусматривает сбалансированное развитие ископаемых видов топлива и альтернативных источников энергии. Вероятно, это наиболее реалистичный сценарий развития общества, поэтому он и был выбран для анализа.

Для построения проекций изменения термического режима в Украине по ежедневным значениям средней, минимальной и максимальной температуры воздуха, полученной по данным региональной климатической модели *REMO-ECHAM5*, рассчитывали различные показатели термического режима в узлах регулярной сетки и интерполировали в точки с координатами метеорологических станций. По полученным прогнозистическим значениям для каждой области вычисляли средние значения климатических показателей за каждый год, сезон, период, месяц с 1981 по 2010 г. и с 2021 по 2050 г. По этим данным определяли средние многолетние значения показателей (климатическую норму) для двух указанных периодов, их разность и значимость этой разности. Поскольку исследуемые периоды являются независимыми, а климатические показатели подчиняются нормальному распределению, оценку значимости ожидаемого изменения климатической нормы осуществляли по *t*-критерию Стьюдента, определяли вероятность и достоверность (p) этого изменения [26]. При сравнении двух периодов нулевая гипотеза состояла в том, что оба периода имеют одинаковые средние значения:

$$H_0 : \bar{X}_1 = \bar{X}_2 .$$

Если вычисленное значение *t*-критерия больше его критического значения, гипотеза о равенстве средних не подтверждалась, т. е. с вероятностью p разность являлась значимой. Учитывая рекомендации МГЭИК [24], для оценки доли неопределенности изменения проекций климатических характеристик использовали такие критерии: практически не вызывает сомнений ($p \leq 0,01$, вероятность 99–100 %); очень вероятно ($0,01 < p \leq 0,1$, вероятность 90–99 %); вероятно ($0,1 < p \leq 0,34$, вероятность 66–90 %); примерно так же вероятно, как и нет ($0,34 < p \leq 0,67$, вероятность 33–66 %); маловероятно ($0,67 < p \leq 0,90$, вероятность 10–33 %); очень маловероятно ($0,90 < p \leq 0,99$, вероятность 1–10 %); исключительно маловероятно ($p > 0,99$, вероятность 0–1 %).

Для определения возможных средних многолетних значений характеристик термического режима в областях Украины в середине XXI в. (2021–2050 гг.) для сценария SRES A1B полученные значения проекций их изменения прибавляли к фактическим средним многолетним значениям этих характеристик за 1981–2010 гг.

Термический режим характеризуется рядом показателей, среди которых средние и экстремальные значения температуры воздуха, даты перехода средней суточной температуры через определенные уровни, продолжительность периодов с температурой воздуха выше или ниже заданного уровня и др. Для выявления изменения термического режима Украины и его экстремальности использовали показатели, предложенные экспертной группой по выявлению изменений климата, мониторинга и индексам при Комиссии по климатологии ВМО [27]: средняя за год и сезон температура воздуха – средняя из средних за сутки значений (T_{avr}); минимальная за год и сезон температура воздуха – средняя из суточных минимумов (T_{min}); максимальная за год и сезон температура воздуха – средняя из суточных максимумов (T_{max}); количество жарких дней за год ($T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$); количество тропических ночей за год ($T_{min} \geq 20^{\circ}\text{C}$); максимальная продолжительность жаркого периода ($T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$) за год; количество теплых дней за год ($T_{cp} \geq 0^{\circ}\text{C}$); количество летних дней за год ($T_{avr} \geq 15^{\circ}\text{C}$); количество дней с морозом ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$); максимальная продолжительность периода с морозом ($T_{min} < 0^{\circ}\text{C}$); количество дней с вегетацией ($T_{avr} \geq 5^{\circ}\text{C}$); количество дней с активной вегетацией ($T_{avr} \geq 10^{\circ}\text{C}$); количество дней с сильным морозом ($T_{min} \leq -20^{\circ}\text{C}$); максимальная продолжительность периода с сильным морозом ($T_{min} \leq -20^{\circ}\text{C}$); количество дней с $T_{min} -10^{\circ}\text{C}$ и ниже; максимальная продолжительность периода с $T_{min} -10^{\circ}\text{C}$ и ниже; количество дней, которые нуждаются в отоплении в холодный период ($T_{avr} \leq 8^{\circ}\text{C}$).

Предложенные климатические показатели отображают особенности термического режима в Украине, характеризуют мезоклиматические ресурсы областей и отраслей экономики, а их изменение свидетельствует об изменении этих ресурсов и необходимости подготовки мер по адаптации как на территориальном, так и на отраслевом уровне.

Результаты и их обсуждение.

Оценка проекций региональной климатической модели REMO-ECHAM5 средних многолетних значений климатических показателей термического режима и их изменения на территории Украины для сценария SRES A1B. Верификация проекций средних многолетних характеристик термического режима, полученных по данным РКМ REMO-ECHAM5 для областей Украины и страны в целом показала, что в период резкого изменения состояния климатической системы (1981–2010 гг.) региональная климатическая модель REMO-ECHAM5 адекватно воссоздает сезонное и пространственное распределение температуры воздуха в Украине (рис. 1, табл. 1). Этот вывод подтверждают и высокие значения коэффициента корреляции (r) между фактическими и расчетными многолетними средними за год и сезон значениями температуры воздуха в Украине: ($r_{год} = 0,977$, $r_{зима} = 0,954$, $r_{весна} = 0,929$, $r_{лето} = 0,976$, $r_{осень} = 0,979$). Анализ абсолютных погрешностей расчетов свидетельствует, что в целом среднюю за год температуру воздуха REMO-ECHAM5 завышает почти на всей территории страны, за исключением Луганской и Закарпатской областей. Эта погрешность увеличивается с 0,1–0,2 °C у северо-западных и северных областей страны до 0,5–0,7 °C у южных и юго-восточных, достигая максимума в Херсонской области – 0,7 °C.

Установлено, что в течение года точность расчетов РКМ в Украине существенно варьирует (см. табл. 1). Наибольшие погрешности многолетних средних за сезон значений температуры воздуха на всей территории страны отмечаются зимой и колеблются от 1,2–1,5 °C в северных и западных областях страны до 2,0–2,9 °C в южных (см. рис. 1, табл. 1). Исключением являются Луганская, Закарпатская и Винницкая области, где точность расчетов значительно выше. В переходные сезоны REMO-ECHAM5 также завышает среднюю за сезон температуру воздуха в Украине: весной – в среднем на 0,6 °C, а осенью – на 0,3 °C. Тем не менее летом модель существенно занижает среднюю по области температуру воздуха на всей территории страны: абсолютные погрешности колеблются от 1,0 до 2,0–2,5 °C, достигая максимума на Закарпатье.

Анализ проекций РКМ средних многолетних значений экстремальных температур воздуха в Украине показал, что модель также хорошо отображает их величину и пространственное распределение как в целом за год, так и в отдельные сезоны (табл. 1, рис. 2). При этом точность прогностических значений максимальной температуры выше, чем минимальной, а коэффициент корреляции между прогностическими и фактическими значениями колеблется в пределах 0,93–0,96 на протяжении всего года. Кроме того, для максимальной температуры характерно завышение средних многолетних значений температуры на протяжении всего года, за исключением лета. Летом прогностические значения максимальной температуры ниже ($-0,7^{\circ}\text{C}$), чем наблюдаемые. В отличие от максимальной минимальную температуру REMO-ECHAM5 занижает на протяжении всего года, за исключением зимы. Наибольшая погрешность отмечается летом и достигает $-3,5^{\circ}\text{C}$ (см. табл. 1).



Рис. 1. Средняя за год многолетняя температура воздуха по данным наблюдений (а) и данным РКМ REMO-ECHAM5 (б) за 1981–2010 гг.

Fig. 1. The average annual air temperature according to observations (a) according to dates RCM REMO-ESNAM5 (b), 1981–2010

Таблица 1. Абсолютные погрешности ($^{\circ}\text{C}$) проекций РКМ REMO-ECHAM5 средних по области значений климатических норм средней (T_{avr}), средней максимальной (T_{max}) и средней минимальной (T_{min}) за год и сезон температуры воздуха

Table 1. Absolute errors ($^{\circ}\text{C}$) of the RCM REMO-ESNAM5 projections in the mean values across regions of the climatic norms of the mean (T_{avr}), the mean maximum (T_{max}) and the mean minimum (T_{min}) air temperature per year and seasons

Область	Год			Сезон											
				зима			весна			лето			осень		
	T_{avr}	T_{max}	T_{min}												
Черниговская	0,3	-1,2	1,3	1,4	0,4	2,0	0,6	-0,7	1,6	-1,7	-3,9	-0,1	0,5	-0,8	1,4
Сумская	0,1	-1,1	1,1	1,3	0,5	1,8	0,5	-0,6	1,4	-1,9	-3,9	-0,3	0,3	-0,7	1,1
Волынская	0,0	-0,9	0,9	1,8	0,0	1,8	0,3	-0,6	1,4	-2,5	-2,7	-0,7	0,0	-0,7	0,6
Ровенская	0,2	-1,4	1,4	1,3	0,3	2,0	0,6	-1,0	1,9	-1,6	-3,8	0,2	0,2	-1,3	1,3
Житомирская	0,2	-1,3	1,2	1,2	0,2	1,6	0,6	-0,9	1,6	-1,6	-3,6	0,0	0,3	-1,1	1,2
Киевская	0,1	-1,2	1,1	1,4	0,5	1,9	0,5	-0,8	1,4	-1,9	-3,8	-0,4	0,2	-1,0	1,1
Львовская	0,1	-1,7	1,2	1,3	-0,4	2,2	0,6	-1,2	1,8	-1,6	-3,6	-0,2	0,0	-1,5	1,0
Хмельницкая	0,3	-0,9	1,1	1,6	0,8	2,1	0,8	-0,5	1,7	-1,6	-3,2	-0,5	0,2	-0,9	0,9
Полтавская	0,2	-0,9	0,8	1,8	0,9	2,2	0,6	-0,5	1,1	-2,0	-3,8	-1,0	0,3	-0,5	0,8
Харьковская	0,0	-1,0	0,6	1,2	0,5	1,5	0,5	-0,6	1,1	-1,9	-3,7	-0,9	0,1	-0,5	0,6
Тернопольская	0,2	-1,0	0,9	1,5	0,6	1,8	0,7	-0,5	1,5	-1,7	-3,3	-0,6	0,0	-1,0	0,7
Черкасская	0,3	-1,0	1,4	1,9	1,0	2,6	0,4	-1,0	1,7	-1,7	-3,7	-0,3	0,5	-0,6	1,3
Луганская	-0,2	-1,4	0,6	0,5	-0,3	0,8	0,5	-0,9	1,4	-1,8	-3,8	-0,6	-0,1	-0,9	0,7
Винницкая	0,3	-1,9	0,9	0,8	0,5	1,7	0,8	-1,5	1,5	-1,0	-4,8	-0,6	0,2	-1,9	0,9
Ив.-Франковская	0,4	-0,8	0,9	1,2	-0,1	1,8	0,9	-0,3	1,5	-1,0	-2,2	-0,6	0,3	-0,8	0,9
Кировоградская	0,3	-0,7	0,8	1,8	1,2	2,3	0,8	-0,4	1,4	-1,9	-3,2	-1,3	0,1	-0,5	0,4
Днепропетровская	0,5	-0,7	1,1	2,2	1,4	2,7	0,7	-0,8	1,4	-1,7	-3,4	-0,8	0,6	-0,1	1,0
Донецкая	0,3	-0,4	0,3	1,4	0,9	1,5	0,7	-0,1	0,9	-1,6	-2,7	-1,6	0,3	0,2	0,2
Закарпатская	-0,8	-2,7	0,3	0,7	-0,7	1,2	-0,7	-3,0	0,7	-2,5	-4,7	-1,1	-0,8	-2,4	0,3
Черновицкая	0,6	-1,5	1,9	1,7	-0,4	3,2	1,1	-1,0	2,4	-1,0	-3,0	0,1	0,6	-1,7	1,8
Одесская	0,5	-0,3	0,9	2,4	1,5	3,0	0,7	-0,4	1,1	-1,5	-2,5	-1,3	0,4	0,0	0,6
Запорожская	0,6	-0,4	1,1	2,6	1,8	3,0	0,6	-0,8	1,3	-1,7	-3,3	-1,2	0,8	0,4	1,1
Николаевская	0,4	-0,8	1,1	2,5	1,6	3,0	0,5	-1,0	1,4	-2,0	-3,7	-1,2	0,5	-0,3	1,0
Херсонская	0,7	-0,3	1,1	2,9	2,1	3,4	0,6	-0,6	1,2	-1,9	-3,2	-1,5	0,9	0,5	1,2
АР Крым	0,3	-0,8	0,7	2,0	0,8	2,8	0,6	-0,9	1,0	-2,0	-3,1	-1,9	0,5	-0,1	0,9

Для оценки достоверности воспроизведения РКМ REMO-ECHAM5 тенденций изменения средних по области климатических показателей сравнивали между собой знаки коэффициентов линейных трендов наблюдаемых и прогнозических значений и вычисляли процент площади территории страны, где тенденции совпали (оправдываемость, %), т. е. коэффициенты имели одинаковый знак. Установлено, что знак коэффициентов линейных трендов фактических и прогнозических значений средней по области минимальной, максимальной и средней за год и сезон

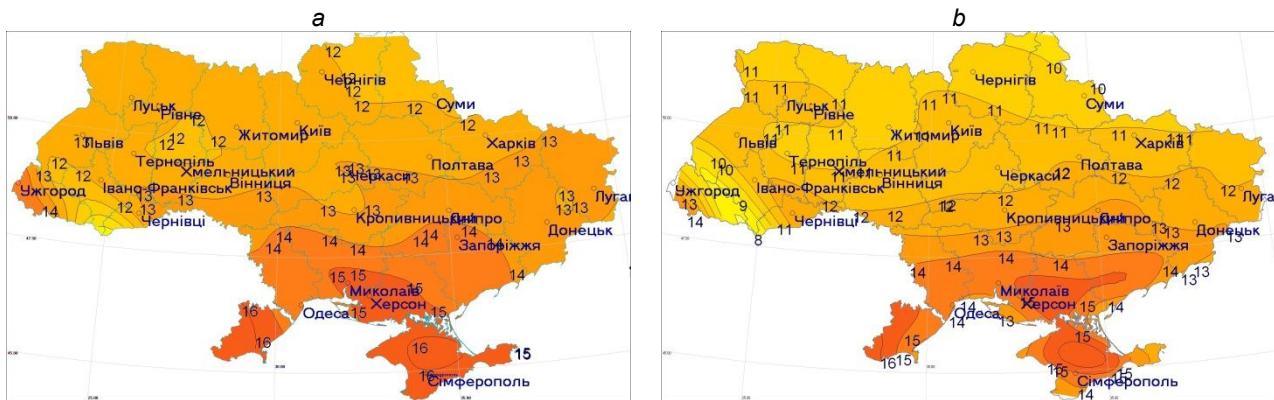


Рис. 2. Средняя максимальная за год многолетняя температура воздуха по данным наблюдений (а) и данным РКМ REMO-ECHAM5 (б) за 1981–2010 гг.

Fig. 2. The average maximum annual air temperature according to observations (a) according to dates RCM REMO-ECHAM5 (b), 1981–2010

температуры воздуха хорошо РКМ описывает тенденцию изменения минимальной температуры: направление изменения средней за год, весну, лето и осень за фактическими и модельными данными совпал на всей территории Украины. Тем не менее, зимой модель правильно воссоздала тенденции лишь на половине территории Украины (49 % ее площади), преимущественно в юго-западных и центральных регионах.

В отличии от минимальной температуры, тенденцию изменения средней за год температуры воздуха REMO-ECHAM5 адекватно воссоздает на всей территории страны (84 % ее площади), за исключением левобережного Полесья (Черниговская, Сумская области) и северо-запада страны (Волынская, Ровенская области). Весной практически на всей территории страны прогностические и фактические изменения средней за сезон температуры совпали, а летом лишь в Одесской области модель прогнозирует снижение средней температуры, в то время как она повышается. Тем не менее, осенью лишь в южных и центральных областях страны модель верно отображает тенденции изменения показателя. Зимой модель не спрогнозировала рост температуры на значительной территории страны (83 %), за исключением Закарпатья, Черновицкой, Одесской, Кировоградской и Винницкой областей.

РКМ описывает тенденцию изменения минимальной температуры: направление изменения средней за год, весну, лето и осень за фактическими и модельными данными, – совпал на всей территории Украины. Тем не менее зимой модель правильно воссоздала тенденции лишь на половине территории Украины (49 % ее площади), преимущественно в юго-западных и центральных регионах.

В отличие от минимальной температуры тенденцию изменения средней за год температуры воздуха REMO-ECHAM5 адекватно воссоздает на всей территории страны (84 % ее площади), за исключением левобережного Полесья (Черниговская и Сумская области) и северо-запада страны (Волынская и Ровенская области). Весной практически на всей территории страны прогностические и фактические изменения средней за сезон температуры совпали, а летом лишь в Одесской области модель прогнозирует снижение средней температуры, в то время как она повышается. Тем не менее осенью лишь в южных и центральных областях страны модель верно отображает тенденции изменения показателя. Зимой модель не спрогнозировала рост температуры на значительной территории страны (83 %), за исключением Закарпатья, Черновицкой, Одесской, Кировоградской и Винницкой областей.

Таким образом, в период резкого изменения состояния климатической системы (1981–2010 гг.) REMO-ECHAM5 лучше прогнозирует изменение средних многолетних значений климатических показателей в Украине, чем их тенденцию. Поэтому оценку возможных изменений климата в стране целесообразно проводить, анализируя изменение их средних многолетних значений.

Проекции изменения средних многолетних показателей термического режима в Украине к середине ХХI в. и их возможные значения. По данным региональной модели REMO-ECHAM5 построены проекции изменения средних многолетних показателей термического режима в Украине к середине ХХI в. относительно современного климатического периода для сбалансированного сценария развития общества – A1B. Согласно этим проекциям, с вероятностью 99 % можно ожидать дальнейшее повышение средней, минимальной и максимальной за год и сезон температуры воздуха на всей территории Украины. Тем не менее эти изменения будут неоднородными и станут усиливаться с запада на восток (рис. 3–6). Лишь летом наибольший рост температуры, особенно максимальной, можно ожидать на юго-западе страны. Максимальная температура наиболее существенно может вырасти в этом регионе и весной.



Рис. 3. Проекции изменения средней за год температуры воздуха в 2021–2050 гг. относительно 1981–2010 гг. в Украине. SRES A1B

Fig. 3. Projections of change average annual air temperature per year in 2021–2050 relatively 1981–2010 in Ukraine. SRES A1B



Рис. 4. Проекции изменения средней максимальной (а) и средней минимальной (б) за год температуры воздуха в 2021–2050 гг. относительно 1981–2010 гг. в Украине. SRES A1B

Fig. 4. Projections of change mean maximum (a) and mean minimum (b) air temperature per year in 2021–2050 relatively 1981–2010 in Ukraine. SRES A1B

При реализации сценария A1B с вероятностью 99 % можно ожидать что средняя за год многолетняя температура воздуха в Украине вырастет на 1,2 °С и достигнет 9,9 °С в 2021–2050 гг. в отличие от 8,7 °С в 1981–2010 гг. В западной и центральной Лесостепи эти изменения могут составить 1,1 °С и ниже, а в северной Степи – 1,3 °С и выше, достигая максимума в Луганской области. Наибольшие изменения ожидаются зимой и осенью и могут в этом регионе превысить 1,5 °С (рис. 5, 6.) При этом очень вероятно, что термический режим Луганской области в середине XXI в. будет соответствовать термическому режиму Винницкой области в его начале. Летом рост средней за сезон температуры воздуха может достигать 0,7–1,3 °С, а весной – 0,6–0,9 °С и более. Такие изменения приведут к тому, что к середине XXI в. зима в Украине может стать теплее на 1,4 °С, осень – на 1,5 °С, лето на 1,0 °С, а весна – на 0,8 °С (см. рис. 5, 6).

К середине XXI в. можно ожидать, что рост минимальной температуры может быть более интенсивным, чем максимальной, особенно зимой, когда повышение средней за сезон минимальной температуры воздуха на 1,5 °С будет наблюдаться на большей части территории страны, а в Луганской и Донецкой областях превысит 2 °С (см. рис. 4). При этом в Луганской области средняя за зиму минимальная температура воздуха может повыситься до –4,9 °С (в 1981–2010 гг. ее значения составляли –7,1 °С) и будет соответствовать минимальной температуре воздуха в западном регионе страны в начале века. Осенью средняя за сезон минимальная температура будет увеличиваться с юго-запада и запада на северо-восток и север от 1,2–1,4 °С до 1,6–1,7 °С и выше и может превысить 5,0 °С в северных областях страны. Летом и весной рост минимальной температуры может быть более однородным на всей территории страны. При этом весной она будет увеличиваться с юго-запада на северо-восток от 0,7 до 1,0 °С и к середине XXI в. на Полесье может быть такой же, как в северной Степи в начале века. Летом наибольший рост минимальной температуры (более 1,1 °С) можно ожидать в южных областях страны, где ее средние за сезон значения превысят 17,0 °С. При этом изменение температуры будет уменьшаться в северном направлении до 0,9 °С и менее (см. рис. 5, 6).

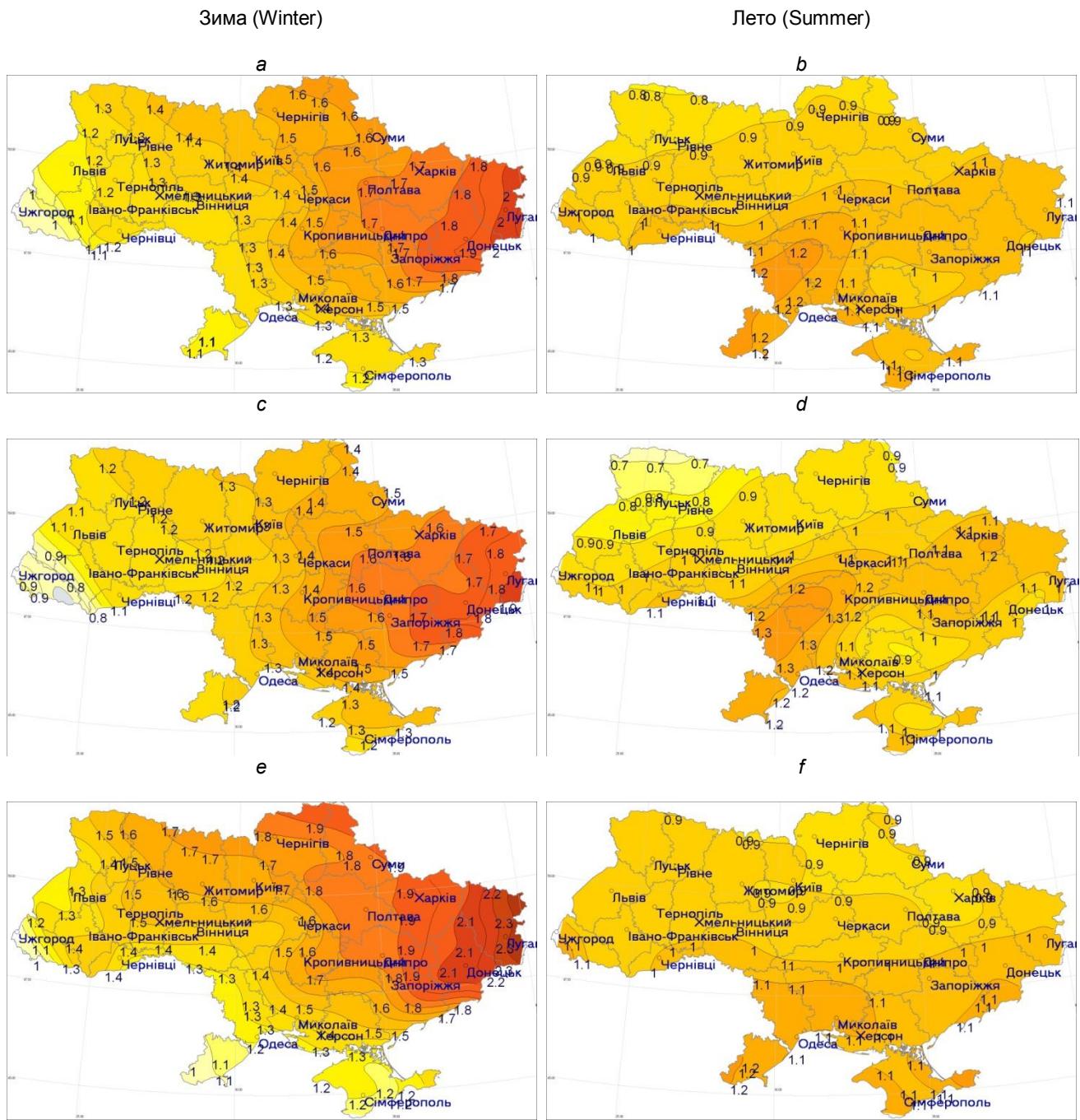


Рис. 5. Проекции изменения средней (а, б), средней максимальной (с, д) и средней минимальной (е, ф) за зиму и лето температуры воздуха в 2021–2050 гг. относительно 1981–2010 гг. в Украине. SRES A1B

Fig. 5. Projections of change in average (a, b), mean maximum (c, d) and mean minimum (e, f) air temperature per winter and summer in 2021–2050 relatively 1981–2010 in Ukraine. SRES A1B

С вероятностью 99 % можно ожидать, что в 2021–2050 гг. в Украине изменится климатическая норма и средней максимальной за год температуры воздуха. Ее значение в Украине может вырасти в среднем на 1,2 °C (см. рис. 4). Этот рост будет усиливаться из северо-запада (0,9 °C) на юго-восток и достигнет максимума (1,3 °C) в Луганской области, где средняя за год максимальная температура может превысить 14,5 °C. Такие значения экстремальной температуры характерны в 1981–2010 гг. для южных регионов страны. Наибольшие изменения ожидаются осенью и зимой и будут составлять в среднем за сезон 1,4 и 1,2 °C соответственно (см. рис. 5, 6). Зимой средняя за сезон максимальная температура может увеличиться от 0,9 °C на западе страны до 1,8 °C и более на востоке и станет к середине XXI в. положительной почти на всей территории Украины, за исключением Сумской области

(см. рис. 5). Можно ожидать, что весной средняя за сезон максимальная температура вырастет на 0,6–0,9 °С, а летом – на 0,7–1,3 °С. В результате средняя за лето максимальная температура воздуха в южной Степи и в Луганской области превысит 28,5 °С, а на Полесье будет достигать 25 °С и выше. Практически не вызывает сомнений (вероятность 99 %), что осенью средняя за сезон максимальная температура воздуха будет выше на 1,2–1,7 °С по сравнению с современным климатическим периодом. Изменения более 1,5 °С будут наблюдаться на большей части территории страны и достигнут максимума на крайнем востоке (см. рис. 5, 6).

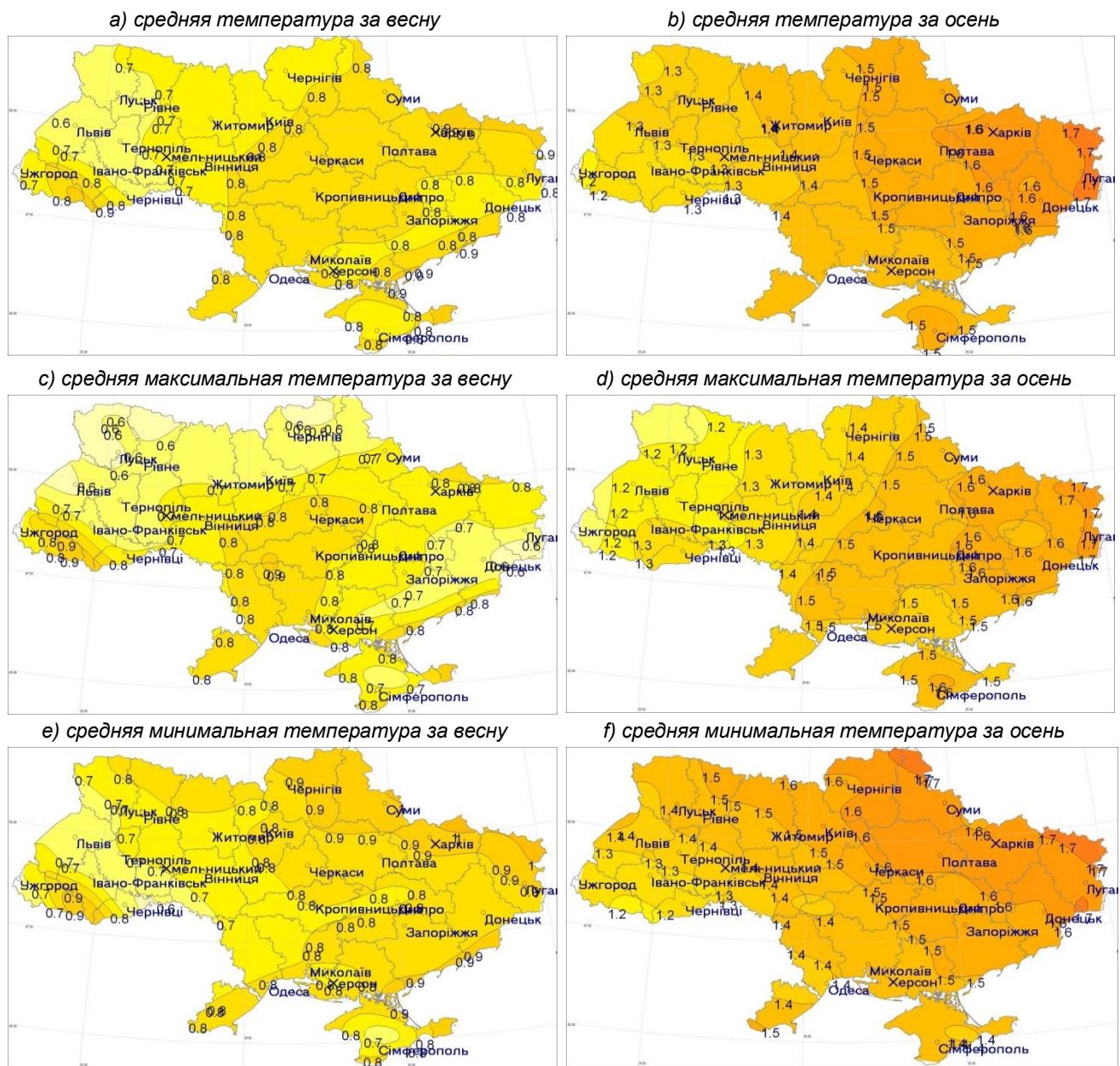


Рис. 6. Проекции изменения средней (a, b), средней максимальной (c, d) и средней минимальной (e, f) температуры воздуха в 2021–2050 гг. относительно 1981–2010 гг. в Украине. SRES A1B

Fig. 6. Projections of change in average (a, b), mean maximum (c, d) and mean minimum (e, f) air temperature per spring and autumn in 2021–2050 relatively 1981–2010 in Ukraine. SRES A1B

Проведенные исследования показали, что в Украине к середине XXI в. с вероятностью 99 % можно ожидать увеличения продолжительности теплого периода как в целом, так и по отдельным градациям температур за счет более раннего наступления весны и продления лета. Продолжительность теплого периода (со средней суточной температурой выше 0 °C) к середине XXI в. может вырасти почти на 2–3 недели относительно современного климатического периода (от 12–15 дней в западной Лесостепи до 18–20 дней в восточной Лесостепи). Результаты исследований представлены в табл. 3. Такие изменения могут привести к тому, что в середине XXI в. на значительной территории страны теплый период будет длиться 10,0–10,5 месяцев, а в АР Крым даже 11 месяцев. При этом на Полесье количество теплых дней может достигнуть 300 дней за год, что было характерно в начале XXI в. для южной Степи.

К середине XXI в. в Украине при реализации сценария A1B может существенно (почти на неделю) увеличиться количество дней, благоприятных для вегетации, со средней за сутки температурой воздуха выше 5 °C, и на 10–11 дней – количество дней, благоприятных для активной вегетации, со средней за сутки температурой воздуха выше 10 °C (табл. 2). Такие изменения, вместе с ростом минимальной температуры в холодный период, могут значительно усилить агроклиматический потенциал территории и будут более благоприятны для выращивания теплолюбивых культур. Этот рост возможен как за счет более раннего начала периода вегетации, так и за счет его более позднего окончания осенью. Наиболее существенные изменения ожидаются в северных, северо-восточных и центральных областях страны (см. табл. 2). В то же время раннее начало периода вегетации растений может создать угрозу их повреждения поздними весенними заморозками.

Увеличение продолжительности теплого периода сопровождается ростом количества жарких дней с максимальной температурой выше 25 °C. К середине XXI в. в Украине очень вероятно их станет больше на 10 дней (табл. 3). При этом в южных областях страны количество жарких дней может вырасти на 12–15, а в северных и западных – на 5–7 дней. Такие изменения приведут к тому, что в южной Степи количество дней с высокой температурой может достичь 100 дней за год и более. Максимальная продолжительность беспрерывного жаркого периода может увеличиться на 1–2 дня на Полесье и в Лесостепи и 5–7 дней в Степи (см. табл. 3). При этом в южной Степи максимальная продолжительность беспрерывного жаркого периода может длиться в середине XXI в. полтора месяца и более.

Более чем на две недели (15 дней) может вырасти количество летних дней в теплый период, когда средняя за сутки температура воздуха будет превышать 15 °C. Наибольшие изменения ожидаются на востоке страны (см. табл. 3). Такие изменения термического режима могут привести к тому, что в середине XXI в. в южной Степи летних дней может быть больше 150 за год, а на Полесье – 120–125. Такое количество летних дней на Полесье характерно для северной Степи в современный климатический период (см. табл. 3). Увеличится и количество тропических ночей, когда минимальная температура будет превышать 20 °C. В среднем по Украине эти изменения будут составлять 2,8 ночи. Наибольшие изменения ожидаются на юге страны, особенно в Херсонской области и АР Крым (7,0 и 7,9 ночи соответственно) и к середине XXI в. могут достигать почти месяц (см. табл. 3).

Проекции изменения средних многолетних значений показателей экстремальности термического режима в холодный период представлены в табл. 4. Установлено, что продолжительность холодного периода в Украине к середине XXI в. будет уменьшаться. Существенно может вырасти и температура воздуха в этот период, что приведет к уменьшению количества дней с морозом на территории страны в среднем на 17 дней. При этом наибольшие изменения возможны в северной Степи и восточной Лесостепи, где морозных дней будет на 20–23 дня меньше. На Полесье, в западной и центральной Лесостепи и в южной Степи их может стать на 16–20 дней меньше, а на Закарпатье и в АР Крым – на 12–13 дней меньше. Практически не вызывает сомнений уменьшение в Украине количества дней с морозом –10 °C и ниже и очень вероятно уменьшение количества дней с морозом –20 °C и ниже (см. табл. 4). К середине XXI в. количество дней с минимальной температурой ниже –10 °C может уменьшиться на 40–80 % и будет составлять от 2–4 дней в южной Степи до 11–13 дней на северо-востоке и востоке страны. Максимальная продолжительность беспрерывного периода с такой температурой может также уменьшиться на 30–60 % и достигнет на территории Украины в 2021–2050 гг. 3–11 дней, в то время как в 1981–2010 гг. она колебалась от 7 до 15 дней. Дней с минимальной температурой ниже –20 °C в середине XXI в. также может быть меньше на всей территории страны. Их количество будет колебаться от 3–4 дней за год на северо-востоке страны до 1 дня за 1–3 года на юге страны. Тем не менее значимость этих изменений разная. Очень вероятно, что уменьшится и максимальная продолжительность периода с сильным морозом и будет составлять в среднем 1–3 дня. Вероятно также уменьшение количества дней, которые нуждаются в отоплении. В западных и северных областях страны эти изменения могут достигать 2–3 дня, в южных и юго-восточных – 5–7 дней, а в АР Крым даже 10 дней (см. табл. 3).

Таблица 2. Проекции изменения средних многолетних значений количества теплых дней, дней благоприятных для вегетации и активной вегетацией и дней, нуждающихся в отоплении в 2021–2050 гг. относительно 1981–2010 гг. и значимость этих изменений (p) в Украине

Table 2. Projections of change in long-term values of number of warm days, days favorable for vegetation and active vegetation, days that needed heating in 2021–2050 relatively 1981–2010 and its assessed likelihood (p) in Ukraine

Область	Количество теплых дней ($T_{avr} \geq 0^{\circ}\text{C}$)				Количество дней, благоприятных для вегетации ($T_{avr} \geq 5^{\circ}\text{C}$)				Количество дней, благоприятных для активной вегетации ($T_{avr} \geq 10^{\circ}\text{C}$)				Количество дней, нуждающихся в отоплении с $T_{avr} \leq 8^{\circ}\text{C}$			
	1981–2010	2021–2050	Δ		1981–2010	2021–2050	Δ		1981–2010	2021–2050	Δ		1981–2010	2021–2050	Δ	
			дни	p			дни	p			дни	p			дни	p
Черниговская	271	288	17	0,001	198	212	14	0,000	161	174	12,4	0,000	166	153	-13,0	0,000
Сумская	266	284	18	0,000	196	211	15	0,000	160	183	23,6	0,000	167	153	-13,6	0,000
Волынская	280	294	14	0,004	201	215	14	0,000	168	181	13,3	0,000	160	147	-12,6	0,000
Ровенская	288	303	15	0,003	200	213	13	0,000	165	183	18,8	0,000	160	148	-12,1	0,000
Житомирская	281	297	16	0,001	199	212	13	0,000	162	176	13,5	0,000	163	150	-12,9	0,000
Киевская	281	297	17	0,001	201	215	14	0,000	168	182	13,4	0,000	161	149	-12,5	0,000
Львовская	287	298	12	0,007	196	208	13	0,000	159	172	13,5	0,000	157	144	-12,9	0,000
Хмельницкая	279	295	16	0,001	197	209	12	0,001	163	176	13,7	0,000	160	148	-11,7	0,000
Полтавская	276	294	18	0,000	208	224	16	0,000	171	184	12,9	0,000	162	149	-13,0	0,000
Харьковская	272	291	19	0,000	200	216	16	0,000	169	181	12,1	0,000	163	150	-13,0	0,000
Тернопольская	285	299	15	0,002	200	213	13	0,001	166	185	19,8	0,000	159	146	-12,8	0,000
Черкасская	281	297	16	0,001	199	214	16	0,000	168	181	13,0	0,000	159	147	-12,7	0,000
Луганская	281	301	20	0,000	201	216	15	0,000	171	183	11,7	0,000	163	149	-13,5	0,000
Винницкая	288	304	16	0,001	196	209	13	0,001	162	176	13,6	0,000	159	148	-11,3	0,000
Ив.-Франковская	273	285	12	0,006	187	200	13	0,000	145	160	15,2	0,000	159	146	-13,8	0,000
Кировоградская	281	297	16	0,000	204	220	16	0,000	174	186	12,9	0,000	158	146	-12,2	0,000
Днепропетровская	281	297	16	0,000	201	219	18	0,000	177	190	13,5	0,000	157	144	-13,5	0,000
Донецкая	276	294	18	0,000	203	220	17	0,000	174	187	12,8	0,000	160	146	-13,7	0,000
Закарпатская	285	297	11	0,008	197	210	12	0,000	159	174	14,9	0,000	158	144	-13,9	0,000
Черновицкая	275	288	13	0,002	193	206	13	0,000	156	171	15,7	0,000	160	147	-12,7	0,000
Одесская	305	316	11	0,000	208	223	15	0,000	185	199	14,5	0,000	143	129	-13,8	0,000
Запорожская	293	307	14	0,000	206	225	19	0,000	180	194	14,2	0,000	153	136	-16,7	0,000
Николаевская	298	310	12	0,001	207	224	17	0,000	182	196	13,9	0,000	150	134	-15,3	0,000
Херсонская	304	314	10	0,000	209	228	19	0,000	185	200	15,5	0,000	147	129	-17,7	0,000
АР Крым	322	329	7	0,000	209	226	17	0,000	185	203	17,8	0,000	131	112	-18,8	0,000
Украина	288	302	14	0,000	203	218	15	0,000	171	186	14,1	0,000	155	150	-5,3	0,003

Δ^* – разница между средними многолетними значениями в 2021–2050 и 1980–2010 гг.; p – значимость разницы средних многолетних значений.

Таблица 3. Проекции изменения средних многолетних значений количества летних и жарких дней, тропических ночей, максимальной продолжительности жаркого периода в 2021–2050 гг. относительно 1981–2010 гг. и значимость этих изменений (p) в Украине

Table 3. Projections of change in long-term values of number of summer days and hot days, tropical nights, maximum duration of hot period in 2021–2050 relatively 1981–2010 and its assessed likelihood (p) in Ukraine

Область	Количество жарких дней ($T_{\max} \geq 25^{\circ}\text{C}$)				Максимальная продолжительность жаркого периода				Количество тропических ночей ($T_{\min} \geq 20^{\circ}\text{C}$)				Количество летних дней ($T_{\text{avr}} \geq 15^{\circ}\text{C}$)			
	1981– 2010	2021– 2050	Δ^*		1981– 2010	2021– 2050	Δ		1981– 2010	2021– 2050	Δ		1981– 2010	2021– 2050	Δ	
			дни	p			дни	p			дни	p			дни	p
Черниговская	53,9	60,2	6,3	0,011	15,2	16,9	1,7	0,030	1,3	1,8	0,5	0,166	107	123,7	17,0	0,000
Сумская	52,6	59,3	6,7	0,015	14,7	16,3	1,7	0,081	1,7	2,1	0,4	0,358	106	123,1	17,3	0,000
Волынская	56,6	60,8	4,2	0,018	15,0	16,8	1,8	0,007	0,8	1,7	0,9	0,003	111	127,3	15,9	0,000
Ровенская	47,7	53,0	5,3	0,016	11,0	12,0	0,9	0,072	0,5	1,1	0,6	0,019	121	135,8	15,1	0,000
Житомирская	47,2	53,1	5,9	0,010	12,0	13,3	1,2	0,030	0,6	1,1	0,5	0,071	103	116,3	13,6	0,000
Киевская	56,7	64,5	7,8	0,008	15,5	17,4	1,9	0,009	2,5	3,5	1,1	0,011	115	128,2	13,7	0,000
Львовская	40,3	45,3	5,0	0,012	9,3	10,3	1,0	0,033	0,3	0,9	0,6	0,003	91	104,3	13,5	0,000
Хмельницкая	45,9	52,7	6,8	0,015	11,6	13,0	1,5	0,014	0,5	1,3	0,8	0,003	103	116,2	13,4	0,000
Полтавская	66,5	76,6	10,1	0,009	20,0	22,3	2,4	0,054	4,1	5,4	1,3	0,085	121	134,7	14,0	0,000
Харьковская	68,1	79,5	11,4	0,007	19,6	22,0	2,4	0,107	4,1	5,6	1,5	0,078	119	138,1	19,0	0,000
Тернопольская	42,1	48,1	6,0	0,013	9,7	10,9	1,2	0,023	0,9	1,5	0,7	0,001	101	115,6	15,1	0,000
Черкасская	61,9	72,6	10,7	0,004	16,8	19,1	2,3	0,010	2,2	3,8	1,5	0,012	116	135,2	18,7	0,000
Луганская	79,7	91,8	12,1	0,009	23,9	26,4	2,6	0,147	4,5	6,8	2,3	0,047	122	137,9	15,7	0,000
Винницкая	45,9	54,3	8,4	0,010	10,9	11,9	1,0	0,046	0,4	0,8	0,4	0,128	99	117,6	18,4	0,000
Ив.-Франковская	31,6	37,1	5,5	0,018	7,3	8,4	1,0	0,047	0,2	0,6	0,4	0,004	77	92,6	15,3	0,000
Кировоградская	69,7	84,2	14,5	0,001	20,3	23,4	3,2	0,022	3,5	5,1	1,6	0,032	123	139,6	16,4	0,000
Днепропетровская	79,1	93,0	13,9	0,005	27,1	30,2	3,1	0,089	5,8	9,1	3,2	0,012	130	148,1	18,6	0,000
Донецкая	74,8	86,7	11,9	0,017	25,6	29,2	3,6	0,098	9,4	12,7	3,2	0,024	126	140,1	13,7	0,000
Закарпатская	49,7	54,4	4,7	0,013	12,4	13,9	1,5	0,020	1,0	1,6	0,6	0,001	92	108,8	16,8	0,000
Черновицкая	44,0	51,3	7,3	0,013	10,3	12,0	1,7	0,010	1,3	2,0	0,7	0,011	91	107,5	16,1	0,000
Одесская	82,0	100,0	18,0	0,000	30,3	35,8	5,4	0,026	12,8	18,6	5,9	0,000	136	150,0	14,2	0,000
Запорожская	87,6	100,5	12,9	0,005	36,1	40,2	4,1	0,102	12,3	17,6	5,3	0,003	134	150,9	16,9	0,000
Николаевская	86,8	103,2	16,4	0,000	31,5	36,4	4,9	0,015	7,9	12,7	4,8	0,001	136	154,5	18,7	0,000
Херсонская	88,3	100,9	12,6	0,003	38,8	46,0	7,3	0,012	15,5	22,5	7,0	0,000	140	154,3	14,8	0,000
АР Крым	76,8	90,4	13,6	0,000	35,8	42,3	6,5	0,006	20,2	28,1	7,9	0,000	137	152,6	15,8	0,000
Украина	64,8	74,9	10,1	0,002	21,6	24,7	3,1	0,012	6,4	9,3	2,8	0,000	118	132,5	15,0	0,009

Δ^* – разница между средними многолетними значениями в 2021–2050 и 1980–2010 гг.; p – значимость разницы средних многолетних значений.

Таблица 4. Проекции изменения средних многолетних значений показателей экстремальности термического режима в холодный период в 2021–2050 гг. относительно 1981–2010 гг. и значимость этих изменений (*p*) в Украине

Table 4. Projections of change in long-term values of extreme thermal regime indicators in the cold period in 2021–2050 relatively 1981–2010 and its assessed likelihood (*p*) in Ukraine

Область	Количество дней с морозом ($T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$)				Количество дней с $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$				Максимальная продолжительность периода с $T_{\min} < -10^{\circ}\text{C}$				Количество дней с $T_{\min} < -20^{\circ}\text{C}$				Максимальная продолжительность периода с $T_{\min} < -20^{\circ}\text{C}$							
	1981–2010		2021–2050		Δ^*		1981–2010		2021–2050		Δ^*		1981–2010		2021–2050		Δ^*		1981–2010		2021–2050		Δ^*	
	дни	<i>p</i>	дни	<i>p</i>	%	<i>p</i>	дни	<i>p</i>	%	<i>p</i>	дни	<i>p</i>	дни	<i>p</i>	%	<i>p</i>	дни	<i>p</i>	%	<i>p</i>	дни	<i>p</i>	%	<i>p</i>
Черниговская	127	106	-20	0,000	17,2	9,2	-46,7	0,003	12,9	8,1	-38	0,005	5,5	3,7	-1,8	0,00	6,2	1,9	-70,1	0,015				
Сумская	130	109	-21	0,000	20,0	12,2	-38,7	0,010	13,4	8,7	-35	0,003	6,8	4,0	-2,8	0,00	7,1	2,2	-68,5	0,006				
Волынская	116	101	-16	0,002	9,7	4,0	-58,9	0,000	8,5	3,3	-61	0,000	3,1	3,0	-0,1	0,64	3,0	1,8	-41,1	0,528				
Ровенская	117	101	-16	0,002	10,6	4,5	-57,2	0,000	8,4	3,6	-57	0,000	3,9	3,7	-0,2	0,51	3,4	1,9	-45,6	0,399				
Житомирская	120	102	-18	0,001	12,4	5,7	-54,0	0,001	9,7	5,2	-47	0,001	3,7	2,9	-0,8	0,12	3,7	1,4	-60,8	0,139				
Киевская	116	97	-19	0,000	13,3	6,3	-53,1	0,002	10,3	6,0	-42	0,004	3,4	2,5	-0,9	0,05	4,4	1,2	-71,8	0,040				
Львовская	115	101	-15	0,002	9,5	5,1	-46,2	0,002	9,6	6,1	-37	0,003	3,6	3,3	-0,3	0,11	6,4	2,2	-65,6	0,137				
Хмельницкая	118	102	-17	0,001	11,3	6,0	-46,7	0,004	8,7	4,7	-46	0,001	3,1	2,7	-0,4	0,1	3,2	0,7	-76,9	0,090				
Полтавская	118	96	-22	0,000	15,2	8,3	-45,2	0,009	12,1	7,1	-42	0,003	3,4	2,0	-1,4	0,01	3,6	0,8	-78,9	0,009				
Харьковская	124	102	-22	0,000	18,6	11,7	-37,0	0,014	13,9	9,6	-31	0,008	5,1	2,9	-2,2	0,00	6,2	1,9	-68,5	0,011				
Тернопольская	113	97	-16	0,001	10,7	5,5	-48,4	0,003	8,2	4,4	-46	0,001	2,5	2,2	-0,3	0,15	2,5	0,7	-70,8	0,120				
Черкасская	116	96	-20	0,000	13,0	5,8	-55,2	0,002	10,5	6,0	-43	0,004	3,5	3,0	-0,5	0,05	4,2	0,9	-79,4	0,043				
Луганская	127	104	-23	0,000	20,0	12,8	-36,2	0,005	15,4	11,1	-28	0,011	6,6	4,0	-2,6	0,01	7,6	3,3	-56,5	0,014				
Винницкая	113	94	-18	0,000	11,8	6,5	-45,2	0,006	9,0	5,1	-43	0,003	3,4	2,9	-0,5	0,07	3,4	0,7	-79,6	0,072				
Ив.-Франковская	130	116	-15	0,002	13,4	8,4	-37,4	0,003	11,3	7,1	-37	0,001	3,0	2,0	-1,0	0,01	4,9	1,8	-63,1	0,012				
Кировоградская	116	94	-21	0,000	12,3	6,2	-49,6	0,004	11,1	6,2	-44	0,002	2,8	1,9	-0,9	0,04	3,4	0,6	-83,4	0,025				
Днепропетр-кая	113	92	-21	0,000	12,7	5,8	-54,4	0,002	12,3	6,2	-50	0,000	3,0	2,1	-0,9	0,05	4,0	0,4	-89,2	0,007				
Донецкая	118	96	-22	0,000	14,7	8,1	-44,8	0,002	13,1	8,8	-33	0,004	2,7	1,0	-1,7	0,01	4,2	0,9	-78,0	0,004				
Закарпатская	117	104	-13	0,003	9,3	5,4	-42,2	0,005	11,1	6,9	-37	0,002	2,0	1,6	-0,4	0,06	4,3	1,6	-63,7	0,086				
Черновицкая	130	115	-15	0,001	13,3	8,0	-39,7	0,002	10,8	6,2	-42	0,000	4,4	3,5	-0,9	0,01	6,3	1,7	-72,3	0,007				
Одесская	90	75	-15	0,000	4,9	1,7	-64,3	0,001	7,5	3,5	-53	0,001	0,6	0,5	-0,1	0,24	1,6	0,7	-55,1	0,458				
Запорожская	104	85	-19	0,000	8,8	3,7	-58,1	0,002	10,5	5,1	-52	0,000	1,9	1,2	-0,7	0,03	3,4	0,2	-93,6	0,002				
Николаевская	63	46	-18	0,000	7,7	3,3	-56,8	0,004	8,6	4,3	-50	0,001	1,4	1,3	-0,1	0,07	1,8	0,3	-80,5	0,078				
Херсонская	124	108	-16	0,000	5,5	2,1	-62,1	0,008	8,8	4,1	-53	0,002	0,9	0,8	-0,1	0,07	1,4	0,1	-93,4	0,097				
АР Крым	109	97	-12	0,000	2,0	0,4	-79,4	0,002	7,7	3,4	-55	0,007	0,2	0,2	0,0	0,18	1,3	0,0	-100	0,180				
Украина	109	92	-17	0,000	10,8	5,6	-47,7	0,001	17,3	12,2	-30	0,000	2,8	2,0	-0,8	0,01	12,6	3,5	-72,2	0,005				

Δ^* – разница между средними многолетними значениями в 2021–2050 гг. и 1980–2010 гг.; *p* – значимость разницы средних многолетних.

Выводы. Таким образом, к середине XXI в. при реализации сценария SRES A1B в Украине ожидается дальнейшее повышение приземной температуры воздуха, которое приведет к существенному изменению климатической нормы характеристик термического режима на всей территории страны, особенно в южных и восточных областях. Ожидается увеличение средних многолетних значений минимальной, максимальной и средней за год и сезон температуры воздуха, количества теплых, летних и жарких дней, тропических ночей, дней благоприятных для вегетации и активной вегетацией, увеличение продолжительности жаркого периода. К середине XXI в. в Украине также может уменьшится количество морозных дней, дней с минимальной температурой ниже -10°C и -20°C и максимальная продолжительность периодов с такой температурой. Уменьшится и количество дней, нуждающихся в отоплении. Существенное изменение климата свидетельствует о том, что влияние погодных условий на различные сектора жизнедеятельности человека и окружающую среду также будет усиливаться, что уже сейчас требует разработки мер по адаптации и смягчению негативных воздействий и использования новых потенциальных возможностей, которые открываются. Эти изменения необходимо учитывать при разработке стратегий и планов развития регионов и отраслей экономики, усовершенствовании законодательной и нормативно-правовой базы.

Список использованных источников

1. Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. Вклад рабочих групп I, II и III в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата / под ред. Р. К. Пачаури, А. Райзингер [и др.]. – Швейцария : МГЭИК, 2007. – 104 с.
2. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. IPCC Working Group I Contribution to AR5: Approved Summary for Policymakers.WMO-IPSS [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf. – Date of access: 20.07.2017.
3. Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961–1990 рр. / С. В. Krakovska [та інш.] // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2008. – № 257. – С. 42–60.
4. Methodology of the best RCMs ensemble selection applied for Ukraine / S. Krakovska [et al.] // Proc. of the International Conference on Regional Climate CORDEX (Brussels, Belgium). – 2013. – P.152.
5. Krakovska, С. В. Региональная модель (REMO) в изучении сильных осадков в Карпатах / С. В. Krakovska, Л. В. Паламарчук, Г. А. Дюкель // Метеорология, климатология и гидрология : Міжрегіон. зб. – 2008. – № 50. – С. 75–80.
6. ENSEMBLES Final Report [Electronic resource]. – Mode of access: <http://ensembles-eu.metoffice.com>. – Date of access: 24.06.2017.
7. European Climate Assessment and Dataset. E-OBS gridded dataset [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.ecad.eu/download/ensembles/ensembles.php>. – Date of access: 23.08.2017.
8. Pfeifer, S. Modeling cold cloud processes with the regional climate model REMO / S. Pfeifer // Max Planck Institute for Meteorology. Reports on Earth System Science. – 2006. – № 23. – 131 p.
9. Giorgi, F. The climatological skill of a regional model over complex terrain / F. Giorgi, G Bates // Monthly Weather Review. – 1989. – Vol. 117. – P. 2325–2347.
10. Giorgi, F. Introduction to special issue: Regional climate modeling revisited / F. Giorgi, L. O. Mearns // J. Geophys. Res. – 1999. – Vol. 104. – P. 6335–6352.
11. Regional Climate Modelling. The REMO model [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.remo-rcm.de/059966/index.php.en>. – Date of access: 20.05.2017.
12. The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: Model Description / E. Roeckner [et al.] // Max-Planck-Institut für Meteorologie, Hamburg. – 2003. – Report 349. – 140 p.
13. Балабух, В. А. Оценка и проекции изменения опасных метеорологических явлений и экстремальных погодных условий в бассейне р. Днестр / В. А. Балабух, С. В. Krakovska, Ю. Б. Набиванец // Междунар. науч. конф. по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды, Казань, Респ. Татарстан, РФ, 2–4 окт. 2012 г. : тез. докл. – Казань, 2012. – С. 104–105.
14. План внедрения стратегических направлений адаптации к изменению климата в бассейне Днестра [Электронный ресурс] // ENVSEC, ЕЭК ООН, ОБСЕ. – 2017. – 52 с. – Режим доступа: <http://www.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/Dniester-web.pdf>. – Дата доступа: 20.05.2017.
15. Стратегические направления адаптации к изменению климата в бассейне Днестра [Электронный ресурс] // ENVSEC, ЕЭК ООН, ОБСЕ. – 2015. – 72 с. – Режим доступа: <https://eco-tiras.org/docs/dniesterlayout.pdf>. – Дата доступа: 20.05.2017.
16. Балабух, В. О. Регіональні прояви глобальної зміни клімату на заповідних територіях верхньої Прип'яті / В. О. Балабух, С. В. Krakovska // Гідроекосистеми заповідних територій верхньої Прип'яті в умовах кліматичних змін ; за ред. В. Д. Романенка, С. О. Афанасьєва, В. І. Осадчого. – Київ, 2013. – С. 7–31.
17. Вразливі екосистеми Поліського природного заповідника та його околиць в умовах глобального по-тепління: проблеми та шляхи вирішення / В. О. Балабух [та інш.]. – Київ: Вид-во ТОВ «НВП Інтерсервіс», 2013. – 92 с.
18. LOC-CLIM-ACT: місцеві дії щодо впливу кліматичних змін [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://forza.org.ua/uk/loc-clim-act/loc-clim-act-miscevi-diyl-shchodo-vplivu-klimatichnih-zmin>. – Дата доступа: 20.05.2017.

19. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / С. М. Степаненко [та інш.]; за ред. С. М. Степаненко, А. М. Польовий. – Одеса : Екологія, 2011. – 696 с.
20. Хохлов, В. М. Просторовий розподіл аномалій опадів в Україні у 2011–2025 роках / В. М. Хохлов, В. М. Бондаренко, Л. Г. Латиш // Український гідрометеорологічний журнал. – 2009. – Вип. 5. – С. 54–62.
21. Хохлов, В. М. Можливі зміни температурного режиму в Україні у 2011–2025 роках / В. М. Хохлов, Л. Г. Латиш, К. С. Цимбалюк // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2009. – Вип. 8. – С. 70–78.
22. Krakovs'ka, S. V. Чисельні проекції кліматичних змін в Луганській області до 2050 року / С. Krakovs'ka // Наук. праці UkrNDGMI. – 2011. – Вип. 261. – С. 37–55.
23. Балабух, В.О. Регіональні прояви глобальної зміни клімату в Тернопільській області та можливі їх зміни до середини ХХІ ст. / В. О. Балабух // Наукові записки ТНПУ. Серія: географія. – Тернопіль, 2014. – № 1. – С. 39–50.
24. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. Методические указания: РД 52.27.284-91: введен 1992.01.01.– М. : Комитет гидрометеорологии при Кабинете министров СССР, 1991. – 77 с.
25. Катцов, В. М. Сравнительный анализ моделей общей циркуляции атмосферы и океана, предназначенных для оценки будущих изменений климата / В. М. Катцов, В. П. Мелешко // Изв. Рос. акад. наук. Физика атмосферы и океана, 2004. – Т. 40, № 6. – С. 647–658.
26. Закс, Л. Статистическое оценивание / Л. Закс. – М. : Статистика, 1976. – 599 с.
27. Руководство по климатологической практике / ВМО. – 2014. – № 100. – 158 с.

References

1. Pachauri R. K., Rajzinger A., et al. (Eds.) *Izmenenie klimata, 2007g.: Obobshajushhij doklad. Vklad rabochih grupp I, II i III v Chetvertij doklad ob ocenke Mezhpriaviteľstvennoj gruppy jekspertov po izmeneniju klimata* [Climate Change 2007: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change]. Switzerland: IPCC, 2007, 104 p.
2. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. IPCC Working Group I Contribution to AR5: Approved Summary for Policymakers.WMO-IPSS. Available at : http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf (Accessed 20 July 2017).
3. Krakovs'ka S. V., Palamarchuk L. V., Shedemenko I. P., Hnatyuk N. V. *Veryfikatsiya danykh svitovooho klimatychnoho tsentru (CRU) ta rehional'noyi modeli klimatu (REMO) shchodo prohnozu pryzemnoyi temperatury povitrya za kontrol'nyy period 1961–1990 rr.* [Verification of the data of the World Climatic Center (CRU) and Regional Climate Model (REMO) on surface air temperature forecast for the control period 1961–1990]. Nauk. pratsi UkrNDGMI, 2008, no. 257, pp. 42–60.
4. Krakovs'ka S., Gnatiuk N., Shpytal I. Methodology of the best RCMs ensemble selection applied for Ukraine. *Proc. of the International Conference on Regional Climate CORDEX* (Brussels, Belgium), 2013, p.152.
5. Krakovs'ka S. V., Palamarchuk L. V., Dyukel H. A. Regional'naja model' (REMO) v izuchenii sil'nyh osadkov v Karpatah' [Regional model (REMO) in the study of heavy precipitation in the Carpathians]. *Mizhrehional'nyy zbirnyk Meteorologiya, klimatologiya ta hidrologiya* [Interregional Collection Meteorology, Climatology and Hydrology]. 2008, no. 50, pp. 75–80.
6. *ENSEMBLES Final Report*. Available at : <http://ensembles-eu.metoffice.com> (Accessed 24 June 2017).
7. European Climate Assessment and Dataset. E-OBS gridded dataset. Available at : <http://www.ecad.eu/download/ensembles/ensembles.php> (Accessed 23 August 2017).
8. Pfeifer S. *Modeling cold cloud processes with the regional climate model REMO*. Max Planck Institute for Meteorology. Reports on Earth System Science. 2006, no. 23, 131 p.
9. Giorgi F., Bates G. The climatological skill of a regional model over complex terrain. *Monthly Weather Review*. 1989. Vol. 117, pp. 2325–2347.
10. Giorgi F., Mearns L. O. *Introduction to special issue: Regional climate modeling revisited*. *J. Geophys. Res.* 1999. Vol. 104. pp. 6335–6352.
11. Regional Climate Modelling. The REMO model Available at: <http://www.remo-rcm.de/059966/index.php.en> (Accessed 20 September 2017).
12. Roeckner E., et al. *The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part I: Model Description*. Max-Planck-Institut fur Meteorologie, Hamburg. 2003. Report 349. 140 p.
13. Balabukh V. A., Krakovskaya S. V., Nabivannets Ju. B. *Ocenka i proekcii izmenenija opasnyh meteorologicheskikh javlenij i jekstremal'nyh pogodnyh uslovij v bassejne r. Dnestr* [Assessment and projections of changes in hazardous meteorological phenomena and extreme weather conditions in the basin of the river Dniester]. *Mezhdunarod-naja nauchnaja konferencija po regional'nym problemam gidrometeorologii i monitoringa okruzhajushhej sredy.*, Kazan', Respublika Tatarstan, RF, 2–4 okt. 2012 g: tezisy dokl. – X [Proc. 10th Int. Conf. on regional problems of hydrometeorology and environmental monitoring]. Kazan, Republic of Tatarstan, 2012, pp. 104–105.
14. *Plan vnedrenija strategicheskikh napravlenij adaptacii k izmeneniju klimata v bassejne Dnestra* [Plan for the implementation of strategic directions for adaptation to climate change in the Dniester Basin]. Available at: <http://www.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/Dniester-web.pdf> (Accessed 2 November 2017).
15. *Strategicheskie napravlenija adaptacii k izmeneniju klimata v bassejne Dnestra* [Strategic directions of adaptation to climate change in the Dniester Basin]. Available at: <https://eco-tiras.org/docs/dniesterlayout.pdf> (Accessed 2 November 2017).
16. Balabukh V. A., Krakovs'ka S. V. *Rehional'ni proyavy hlobal'noyi zmyny klimatu na zapovidnykh terytoriyakh verkhn'oyi Pryp'yati* [Regional manifestations of global climate change in the protected territories of the Upper Pripyat].

- Gidroekosistemi zapovidnih teritorij verhn'oї Prip'jati v umovah klimatichnih. [Hydroecosystems of the protected territories of the Upper Pripyat in climate change conditions]. Ed.: V. D. Romanenko, S. O. Afanas'yeva, V. I. Osadchyy. Kyiv, 2013, pp. 7–31
17. Balabukh V. O., Zhyla S. M., Orlov O. O., Yaremchenko O. A. (Eds.) *Vrazlyvi ekosystemy Polis'koho pryrodnego zapovidnyka ta yoho okolys' v umovakh hlobal'noho poteplinnya: problemy ta shlyakhy vyrischennya* [Vulnerable ecosystems of Polissya Nature Reserve and its environs in conditions of global warming: problems and solutions]. Kyiv, TOV "NVP Interservis" Publ., 2013, 92 p.
18. LOC-CLIM-ACT: mistsevi diyi shchodo vplyvu klimatychnykh zmin (LOC-CLIM-ACT: local actions on the impact of climate change). Available at: <http://forza.org.ua/uk/loc-clim-act/loc-clim-act-miscevi-diyi-shchodo-vplyvu-klimatychnih-zmin> (Accessed 2 November 2017).
19. Stepanenko S. M., Pol'ovyy A. M. (Eds.) *Otsinka vplyvu klimatychnykh zmin na haluzi ekonomiky Ukrayny* [The assessment of impact of climate change on the Ukraine industry]. Odessa, Ecology Publ., 2011, 696 p.
20. Khokhlov V. M., Bondarenko V. M., Latysh L. H. Spatial distribution of precipitation anomalies in Ukraine in 2011–2025. *Ukr. Gidro-meteorol. ž.* – *Ukr. hydrometeor. j.*, 2009, no. 5. Available at: <http://uhmj.odeku.edu.ua/uk/category/2009-05-05-uk/#post-4838> (Accessed 2 November 2017).
21. Khokhlov V.N., Latysh L.G., Tsymbalyuk E.S. *Possible thermal condition changes in Ukraine in 2011–2025*. Visn. Odes. derž. ekol. univ., 2009, no. 8. Available at: <http://bulletin.odeku.edu.ua/uk/category/2009-08-08-uk/#post-4889> (Accessed 2 November 2017).
22. Krakovska S. V. *Chysel'ni proektsiyi klimatychnykh zmin v Luhans'koy oblasti do 2050 roku* [Numerous projections of climate change in the Luhansk region by 2050]. Nauk. pratsi UkrNDHMI, 2011, no. 261, pp. 37–55.
23. Balabukh V. O. *Rehional'ni proyavy hlobal'noyi zmyny klimatu v Ternopil's'koy oblasti ta mozhlyvi yikh zmyny do seredyny KhKhI st.* [Regional manifestations of global climate change in the Ternopil region and possible changes to the mid-twentieth century]. *Naukovyi zapysky TNPU. Seriya: heohrafiya* [Scientific notes of TNPU. Series: Geography]. Ternopil: SMP "Typ" Publ., no. 1, 2014, pp. 39–50.
24. Provedenie proizvodstvennyh (operativnyh) ispytanij novyh i usovershenstvovannyh metodov gidrometeoro-logichestskih i geliogeofizicheskikh prognozov. Metodicheskie ukazanija: RD 52.27.284-91: vveden 1992.01.01. [Conducting production (operational) testing of new and improved methods of hydrometeorological and helio-geophysical forecast. Methodical instructions: РД 52.27.284-91: introduced 1992.01.01]. Moscow, Committee of Hydrometeorology under the Cabinet of Ministers of the USSR, 1991. 77 p.
25. Katcov V.M., Meleshko V.P. *Sravnitel'nyj analiz modelej obshhej cirkulacii atmosfery i okeana, prednaznachennyh dlya ocenki budushhih izmenenij klimata* [A comparative analysis of models of the general circulation of the atmosphere and the ocean, designed to assess future climate change]. *Izvestija RAN. Fizika atmosferi i okeana* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Physics of the Atmosphere and Ocean], 2004, vol. 40, no. 6, pp. 647–658.
26. Zaks L. *Statisticheskoe ocenivanie* [Statistical estimation]. Moscow, Statistica Publ., 1976, 599 p.
27. *Rukovodstvo po klimatologicheskoi praktike*: VMO [Guide to Climatological Practices: WMO]. 2014, no. 100, 158 p.

Информация об авторах

Балабух Вера Алексеевна – канд. геогр. наук, ст. науч. сотрудник, зав. отдела синоптической метеорологии, Украинский гидрометеорологический институт ГСЧС и НАН Украины (проспект Науки, 37, 03028, г. Киев, Украина). E-mail: Balabukh_Vira@ukr.net, Balabukh@uhmi.org.ua

Малицкая Людмила Владимировна – аспирант, науч. сотрудник, Украинский гидрометеорологический институт ГСЧС и НАН Украины (проспект Науки, 37, 03028, г. Киев, Украина). E-mail: malytska@uhmi.org.ua

Ягодинец Степан Николаевич – науч. сотрудник, Украинский гидрометеорологический институт ГСЧС и НАН Украины (проспект Науки, 37, 03028, г. Киев, Украина). E-mail: stepan_y@ukr.net

Лавриненко Елена Николаевна – науч. сотрудник, Украинский гидрометеорологический институт ГСЧС и НАН Украины (проспект Науки, 37, 03028, г. Киев, Украина). E-mail: lena_meteo@rambler.ru

Information about the authors

Vira Balabukh – Ph.D, Senior Researcher, Head Department of Synoptical Meteorology, Ukrainian Hydrometeorological Institute, The State Emergency Service of Ukraine, The National Academy of Sciences of Ukraine (37, Prospekt Nauky, 03028, Kyiv, Ukraine). E-mail: Balabukh_Vira@ukr.net, Balabukh@uhmi.org.ua

Ludmila Malytska – Graduate student, Researcher, Ukrainian Hydrometeorological Institute, The State Emergency Service of Ukraine, The National Academy of Sciences of Ukraine (37, Prospekt Nauky, 03028, Kyiv, Ukraine). E-mail: malytska@uhmi.org.ua

Stepan Yagodinets – Researcher, Head Department of Synoptical Meteorology, Ukrainian Hydrometeorological Institute, The State Emergency Service of Ukraine, The National Academy of Sciences of Ukraine (37, Prospekt Nauky, 03028, Kyiv, Ukraine). E-mail: stepan_y@ukr.net

Elena Lavrinenco – Researcher, Head Department of Synoptical Meteorology, Ukrainian Hydrometeorological Institute, The State Emergency Service of Ukraine, The National Academy of Sciences of Ukraine (37, Prospekt Nauky, 03028, Kyiv, Ukraine). E-mail: lena_meteo@rambler.ru

ОПТИМАЛЬНЫЙ АНСАМБЛЬ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В УКРАИНЕ

С. В. Krakovskaya

Украинский гидрометеорологический институт ГСЧС и НАН Украины, Киев, Украина

Аннотация. Изложена оригинальная методика формирования оптимального ансамбля из региональных климатических моделей (РКМ) для количественных оценок современных и возможных будущих изменений приземной температуры воздуха в Украине. С этой целью для двух климатических периодов в прошлом (1961–1990 гг. и 1991–2010 гг.) проведен статистический анализ результатов расчетов 14 РКМ европейского проекта FP-6 ENSEMBLES и их различных комбинаций для определения оптимального ансамбля с наименьшими отклонениями от данных измерений на территории Украины. Полученные статистические оценки изменения температуры по данным «слепого прогноза» РКМ и их ансамблей на период 1991–2010 гг. относительно 1961–1990 гг. для социо-экономического сценария развития человечества SRES A1B в сравнении с фактическими данными электронной базы E-Obs, позволили сформировать оптимальный для территории Украины ансамбль из 10 РКМ для последующих оценок изменений температурного режима до конца XXI в.

Ключевые слова: региональная климатическая модель; температура воздуха; верификация; ансамбль моделей; коррекция погрешностей.

Для цитирования. Krakovskaya S. V. Optimalnyy ansambl' regional'nykh klimaticheskikh model'ей dlya otsenki izmenenij temperaturnogo rezhima v Ukrayine // Prirodopользование. – 2018. – № 1. – C. 114–126.

OPTIMAL ENSEMBLE OF REGIONAL CLIMATE MODELS FOR THE ASSESSMENT OF TEMPERATURE REGIME CHANGE IN UKRAINE

S. V. Krakovska

*Ukrainian Hydrometeorological Institute of The State Service of Emergencies and
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

Abstract. The aim of the presented research is to obtain an optimal ensemble of regional climate models (RCMs) for assessment of future air temperature changes in Ukraine. Statistical characteristics of 14 RCMs of the EU project FP-6 ENSEMBLES (ensembles-eu.metoffice.com) initiated with boundary conditions from 6 Atmosphere-Ocean General Circulation Models calculated for the IPCC scenario SRES A1B have been presented and analyzed for two climatic periods in the past – standard 1961–1990 and recent 1991–2010. Different RCMs' ensembles have been examined and the optimal one of 10RCMs has been determined via evaluation by the gridded observational data E-Obs (ecad.eu). Bias correction by additive method has been applied to some RCMs' ensembles and substantial reduction in errors and improvement in projections have been demonstrated. Along with averaged over the territory of Ukraine statistical characteristics, spatial distribution of obtained differences between projected by some RCMs' ensemble and observed temperature in 1991–2010 has been received for all 1175 coordinate grids with approximate resolution 25 × 25 km within Ukraine's boundaries. It has proved that the projection of 10 RCMs ensemble has had minimum errors over the domain of Ukraine and can be recommended as the optimal. At the same time statistical analysis has confirmed that RCM REMO has had the best individual performance for temperature in Ukraine.

Keywords: regional climate model; air temperature; verification; ensemble of models; bias correction.

For citation. Krakovska S. V. Optimal ensemble of regional climate models for the assessment of temperature regime change in Ukraine. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 114–126.

Введение. В настоящее время проблемам изменения климата уделяется значительное внимание в мире в связи с их важностью, актуальностью и непосредственным влиянием на жизнь практически всех обитателей планеты Земля. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) в своем последнем Пятом оценочном отчете [1] подтвердила, что именно из-за повышения в атмосфере содержания парниковых газов антропогенного происхождения с середины XX в. наблюдается значительный и беспрецедентно быстрый рост глобальной температуры воздуха, что, в свою очередь, приводит к таянию ледников, повышению уровня Мирового океана, интенсификации и уве-

личению повторяемости опасных гидрометеорологических явлений и стихийных бедствий практически во всех регионах планеты, что характерно также для Украины и Беларуси [2, 3].

Такие быстрые изменения состояния климатической системы требуют как постоянного мониторинга, так и прогноза на ближайшую и далекую перспективы. Применение численных моделей для решения задач прогнозирования будущих изменений климата является наиболее оптимальным, поскольку развитие вычислительной техники и самих моделей в последние десятилетия достигли значительных успехов. Контрольные расчеты климата последних веков с помощью моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) подтвердили их способность воспроизводить основные тенденции изменений в климатической системе планетарного масштаба [1]. На основе результатов МОЦАО, рассчитанных по специально разработанным МГЭИК сценариям развития общества на XXI в. [4], были проведены оценки возможных изменений региональных климатов, в том числе для Беларуси, Украины, России и Молдовы [3, 5–7]. При этом в исследованиях [5–7] был применен наиболее перспективный ансамблевый метод использования численных моделей, поскольку он позволяет не только снизить систематические ошибки, которые присущи всем моделям, но и получить вместе с осредненным по ансамблю значением пределы его возможных вариаций – доверительный интервал с заданной надежностью.

Такой подход требует определенных предварительных проверок (верификаций) в регионе, для которого применяются численные модели, и методов формирования ансамбля из климатических моделей для эффективного их использования с целью уменьшения ошибок и неопределенностей, которые возникают в любом прогнозе, тем более на далекую перспективу. Вопрос формирования ансамбля при этом остается наиболее сложным и дискуссионным, поскольку один и тот же набор моделей может давать разные результаты в разных регионах и для разных характеристик. Исследования авторов [8] на примере десятков расчетов МОЦАО подтвердили, что поиск критериев для дискриминации отдельных моделей и осреднение по рассчитанным весовым коэффициентам значительно усложняют процедуру формирования ансамбля, но по сути существенно не уменьшают его ошибки. Также в обзоре [9] отмечается, что отклонения (*bias*) расчетов ансамбля моделей зависят от природно-климатических зон, что вносит существенные ограничения в возможности прогнозирования региональных аспектов будущих климатических изменений. К тому же шаг МОЦАО составляет от одного до нескольких градусов, что для большинства государств мира означает, что на их территорию попадает от одного до нескольких узлов координатной сетки глобальной модели [5, 7]. Поэтому еще в Четвертом оценочном докладе МГЭИК было рекомендовано для таких целей применять региональные климатические модели (РКМ), желательно, рассчитанные с граничными условиями нескольких МОЦАО [10].

В то же время одним из решений Парижского соглашения 2015 г. являлась рекомендация разрабатывать планы не только по снижению количества выбросов парниковых газов для ослабления антропогенного воздействия на климатическую систему (*mitigation*), но и по адаптации к тем значительным изменениям климатических условий, которые уже произошли на данный момент и прогнозируются в будущем. Очевидно, что такие планы должны учитывать региональные особенности территорий и потому основываться на данных прогнозов именно РКМ, шаг расчетов которых значительно меньший, чем в МОЦАО, и составляет 10–50 км.

Цель работы – сформировать оптимальный для территории Украины ансамбль РКМ для последующей разработки детализированных в пространстве и времени сценариев изменения температурного режима в регионе.

Исходные данные. Перед тем, как проводить любой анализ расчетов РКМ на будущие периоды, необходимо убедиться в том, что выбранные РКМ и их ансамбли способны воспроизводить климатические условия в заданном регионе, т. е. необходимо провести верификацию моделей. Для этого используются данные наблюдений и измерений на метеорологических (климатических) станциях в период, который в дальнейшем будет базовым для определения будущих возможных климатических изменений. Для целей верификации РКМ удобно использовать данные измерений, которые интерполированы в ту же координатную сетку, что и региональные климатические модели.

Для формирования оптимального ансамбля из региональных климатических моделей и построения проекций климатических характеристик на территории Украины до конца XXI в. в УкрГМИ были задействованы результаты 14 расчетов РКМ, выполненных в рамках Европейского проекта FP-6 ENSEMBLES [11] для сценария SRES A1B [4] с горизонтальным разрешением 25 км. Основные характеристики использованных расчетов моделей представлены на сайте проекта (<http://ensembles-eu.metoffice.com>), а также в работе [12]. Отметим, что данные некоторых из выбранных РКМ ранее применялись в регионе и показали хорошие результаты [13], а также то, что в данном наборе представлен, по крайней мере, один расчет РКМ каждого научного института-партнера из проекта ENSEMBLES. Начальные и граничные условия расчетов 14 РКМ были взяты из 6 МОЦАО, что должно было обеспечить полноту охвата возможных проекций изменения климата в регионе и возможность

получения вероятных диапазонов возможных будущих изменений климатической характеристики – доверительные интервалы с заданной надежностью.

Для верификации результатов расчетов РКМ в представленном исследовании были использованы данные базы E-Obs [14], разработка которой также входила в задачи того же европейского проекта ENSEMBLES именно с целью создания качественной и в некоторой степени унифицированной базы для верификации численных моделей. Входными данными для нее являются ежесуточные измерения на сети гидрометеорологических станций Европы, которые проходят процедуры проверки на ошибки и однородность, и затем пересчитываются в узлы регулярной сетки с шагом 0,25° (≈ 25 км), в которую также пересчитаны данные всех РКМ, принимавших участие в ENSEMBLES. Таким образом, отпадает необходимость в использовании данных отдельных станций, и, после проверки данных самой базы E-Obs в исследуемом регионе, что было выполнено ранее и представлено в работе [15], можно сразу проводить верификацию моделей.

В качестве контрольного для верификации моделей в данном исследовании выбран рекомендованный ВМО стандартный климатический период 1961–1990 гг. Среди преимуществ, которые определили выбор этого контрольного периода, отметим то, что данный период все еще используется как климатическая норма в Украине, а данные измерений, которые вошли в базу E-Obs, были тщательно проверены на нескольких этапах, включая национальный. Для полноты анализа также будет проведена верификация данных РКМ для современного климатического периода 1991–2010 гг., что также позволит определить недавние климатические изменения и в дальнейшем сравнить их с прогнозируемыми на будущие периоды. Такой подход был применен автором ранее и для других климатических характеристик, например, количества общей облачности [16] и осадков [17], а также некоторых специализированных климатических показателей [18], при этом были получены удовлетворительные результаты.

Верификация РКМ на контролльном и современном климатических периодах. Формирование оптимального ансамбля РКМ должно в первую очередь определяться теми задачами, для которых оно выполняется. В данном исследовании основными климатическими характеристиками, изменения которых запланировано оценить в пределах всей Украины и представить в виде детализированных карт и значений, являются многолетние средние месячные, сезонные и годовые температуры воздуха. Поэтому верификация моделей с целью формирования их оптимального ансамбля проведена по определенному набору статистических параметров, которые применены в качестве критериев в отборе РКМ в ансамбль и изложены ниже.

Прежде всего, необходимо было убедиться в том, что данные РКМ в целом удовлетворительно представляют региональный климат Украины. Для этого по каждой модели на основе многолетних средних месячных данных, осредненных для всей территории Украины по почти 1200 узлам координатной сетки РКМ, для двух периодов в прошлом (контрольном 1961–1990 гг. и современном 1991–2010 гг.) рассчитывались следующие статистические характеристики по ряду из 12 значений многолетних средних месячных значений температуры воздуха: средние годовые значения, стандартные отклонения, которые в данном случае характеризуют амплитуду годового хода, абсолютные максимальные и минимальные, а также среднеквадратические ошибки (RMSE – root-mean-squared-error) относительно эталонных аналогичных значений E-Obs. Результаты расчетов представлены в табл. 1, 2, а также на рис. 1 в виде пузырьковых диаграмм для двух периодов соответственно.

Из приведенных на рис. 1 и в табл. 1, 2 данных можно, во-первых, выделить РКМ, которые хуже представляют амплитуду годового хода и среднюю годовую температуру воздуха, т. е. те, у которых данные характеристики выходят за пределы зоны ± 1 °C относительно значений E-Obs, обозначенной зеленым прямоугольником на рис. 1. Это модели, у которых значительно завышены (4:HIRHAM5, 12:RCA3, 14:RCA3-B) или занижены (8:RRCM, 13:HIRHAM) средние годовые значения температуры в обоих или в одном из периодов. Данные модели выделены в таблицах красным и синим цветами соответственно. Поскольку предполагалось, что для прогнозов будут использоваться средние месячные значения РКМ, то грубыми считались абсолютные ошибки, превышающие ± 4 °C. Такими моделями были 6 РКМ: 4:HIRHAM5, 7:HadRM3Q0, 8:RRCM, 9:CLM, 10:PROMES, 14:RCA3-B, выделенные красным и синим цветами в таблицах. Также в таблицах выделены РКМ с ошибками RMSE, которые превышают 2 °C: 7:HadRM3Q0, 9:CLM, 10:PROMES. Очевидно, что только 5 РКМ в первом и 4 РКМ во втором периоде не имели столь грубых ошибок, что абсолютно очевидно из диаграмм на рис. 1, где характеристики этих лучших моделей оказались в пределах зеленых прямоугольников. Заметим, что лучшей моделью практически по всем показателям в обоих периодах является РКМ 1:REMO, и ее расположение на диаграммах рис. 1 – ближайшее к значениям E-Obs, которые обозначены красной точкой. Ближайшая к REMO по минимальной RMSE – РКМ 11: RCA3-H, но она все-таки имеет показатели несколько хуже, если принимать во внимание оба периода.

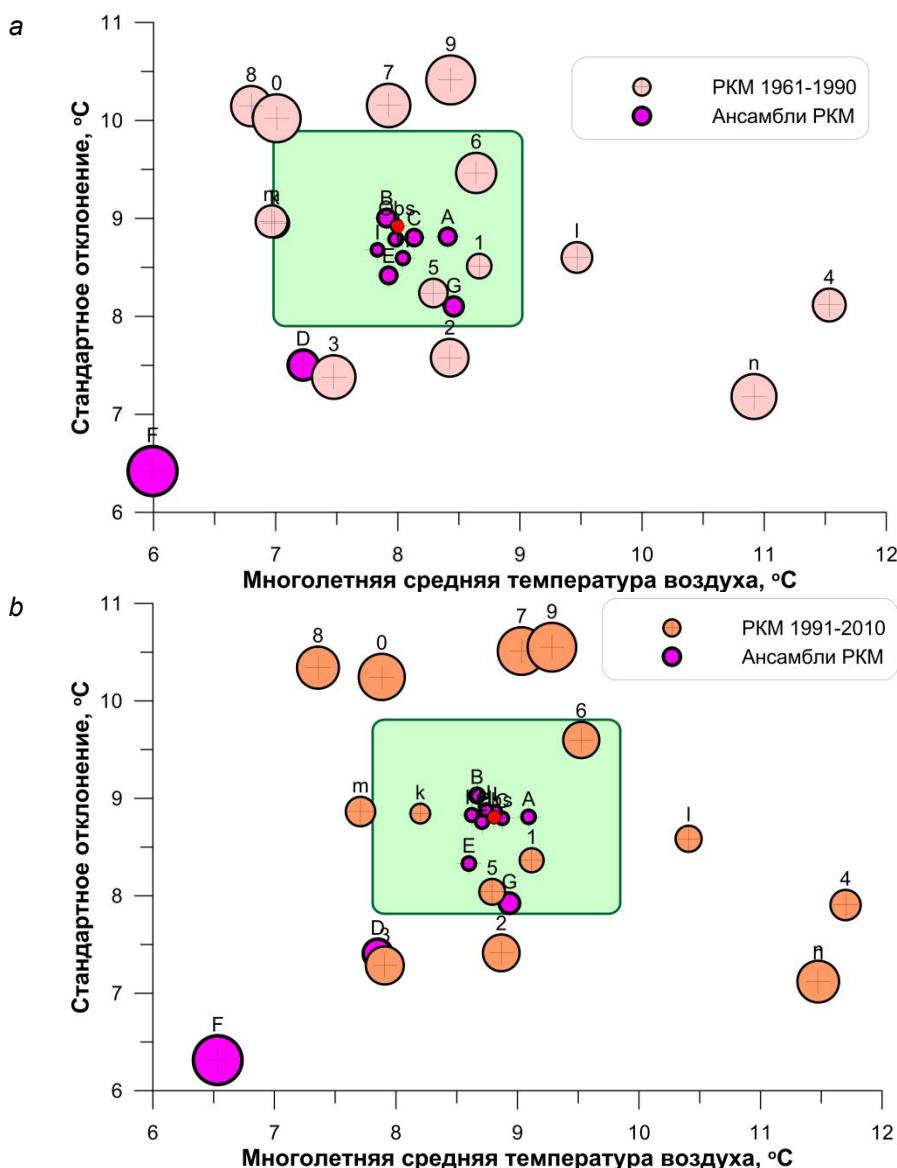


Рис. 1. Пузырьковые диаграммы для оценки результатов РКМ и их ансамблей по сравнению с E-Obs (красная точка) для (а) стандартного 1961–1990 гг. и недавнего 1991–2010 гг. (б) климатических периодов. Данные и обозначения РКМ и их ансамблей приведены в табл. 1 и 2 соответственно. Размеры пузырьков соответствуют среднеквадратической ошибке (RMSE)

Fig. 1. Bubble diagrams for assessment of RCM and their ensembles by multiyear mean temperature (X-axis), standard deviation correlated with annual temperature range (Y-axis) and RMSE (size of bubbles) in respect to E-Obs data (red dot) for (a) standard 1961–1990 and (b) recent 1991–2010 climatic periods. All markings are in Tabl. 1 and 2 respectively

Еще одной статистической характеристикой, которая рассчитывалась в анализе результатов РКМ, был коэффициент корреляции, характеризующий синхронность изменений во временных распределениях, т. е. в данном случае в годовом ходе температуры. Данные не приведены в таблицах, поскольку анализ показал, что почти для всех РКМ они выше 0,99, но не меньше 0,98, т. е. сам годовой ход температуры во всех РКМ моделируется отлично. Однако известно, что для оценок «успешности» представления температуры в РКМ, коэффициенты корреляции являются наименее информативными и должны приниматься во внимание только после оценок других указанных статистических показателей.

Далее перейдем непосредственно к анализу показателей различных ансамблей РКМ, статистические характеристики которых также приведены на рис. 1 и в табл. 1, 2.

Таблица 1. Статистические характеристики региональных климатических моделей (РКМ) и их ансамблей для температуры воздуха за 1961–1990 гг. относительно данных E-Obs

Table 1. Statistical characteristics of Regional Climate Models (RCM) and their ensembles vs E-Obs data for air temperature in 1961–1990

Названия РКМ и их ансамблей	Обозначения для рис. 1, а	Средняя годовая температура, °C	Стандартное отклонение	Среднеквадратическая ошибка	Максимальная абсолютная ошибка	Минимальная абсолютная ошибка
	Obs	8,0	8,9			
1: <i>REMO</i>	1	8,7	8,5	0,7	1,8	-0,7
2: <i>RCA3-E</i>	2	8,4	7,6	1,5	3,1	-1,4
3: <i>RegCM3</i>	3	7,5	7,4	1,8	3,2	-2,3
4: <i>HIRHAM5</i>	4	11,5	8,1	1,2	6,4	1,9
5: <i>RACMO2</i>	5	8,3	8,2	0,9	2,4	-0,8
6: <i>RM5.1</i> (Aladin)	6	8,6	9,5	1,6	3,1	-2,3
7: <i>HadRM3Q0</i>	7	7,9	10,2	1,8	3,7	-2,5
8: <i>RRCM</i>	8	6,8	10,1	1,6	1,9	-3,4
9: <i>CLM</i>	9	8,4	10,4	2,1	5,1	-2,7
10: <i>PROMES</i>	0	7,0	10,0	2,0	3,2	-4,5
11: <i>RCA3-H</i>	K	7,0	9,0	1,0	0,6	-2,8
12: <i>RCA3</i>	L	9,5	8,6	1,1	3,1	0,1
13: <i>HIRHAM</i>	M	7,0	9,0	1,1	0,4	-3,4
14: <i>RCA3-B</i>	N	10,9	7,2	1,9	6,1	0,4
14RM: 1-14	A	8,4	8,8	0,9	1,7	-1,0
12RM: 1-3;5-13	B	7,9	9,0	0,9	1,6	-1,6
10RM: 1-3;5-7;9;11-13	C	8,1	8,8	0,8	1,4	-1,2
8RM: 1-3;5;6;11-13	D	7,2	7,5	1,6	2,2	-2,8
7RM: 1-3;5;6;11;13	E	7,9	8,4	0,8	1,7	-1,4
3RM: 1;5;11	F	6,0	6,4	2,6	2,4	-5,1
3RM: 1;2;5	G	8,5	8,1	1,0	2,5	-0,9
4RM: 1;2;5;8	H	8,0	8,6	0,7	1,2	-1,1
5RM: 1;2;5;8;11	I	7,8	8,7	0,6	1,0	-1,2
6RM: 1;2;5;6;8;11	J	8,0	8,8	0,7	1,1	-1,2

Формирование оптимального ансамбля РКМ. Целями применения именно ансамбля РКМ вместо одной «успешной» модели являются: во-первых, возможность получения не только одного детерминированного осредненного значения, но и вероятного диапазона климатической характеристики, который можно получить именно как стандартное отклонение (доверительный интервал) по ансамблю из нескольких РКМ; во-вторых, известно, что каждая индивидуальная модель имеет определенные систематические ошибки, которые определяются конкретными наборами параметризаций физических процессов и их «успешностью» в конкретных физико-географических условиях. Такие ошибки отдельных РКМ, как правило, случайно распределены относительно истинного значения, и поэтому осреднение большего числа РКМ дает лучшие результаты за счет взаимокомпенсации погрешностей.

В дальнейшем для температуры воздуха под **оптимальным** будем понимать ансамбль не менее чем из трех РКМ, у которого, во-первых, наименьшая среднеквадратическая ошибка и, во-вторых, при близких значениях RMSE, который составлен из максимального количества РКМ. Дополнительными критериями будут величины абсолютных ошибок средних годовых значений и их стандартных отклонений по отношению к эталону.

Для иллюстрации методического подхода к определению оптимального ансамбля в табл. 1, 2 представлены характеристики некоторых показательных ансамблей, названия которых начинаются с соответствующего числа объединенных РКМ (14 RM, 12 RM и т. д.). Анализ проводили, начиная с максимального количества моделей (14 РКМ в данном случае) до минимального из 3 РКМ.

Таблица 2. Статистические характеристики региональных климатических моделей (РКМ), их ансамблей и проекций для температуры воздуха за 1991–2010 гг. относительно данных E-Obs

Table 2. Statistical characteristics of Regional Climate Models (RCM), their ensembles and projections vs E-Obs data for air temperature in 1991–2010

Названия РКМ и их ансамблей	Обозначения для рис. 1, b	Средняя годовая температура, °C	Стандартное отклонение	Среднеквадратическая ошибка	Максимальная абсолютная ошибка	Минимальная абсолютная ошибка
	Obs	8,8	8,8			
1: REMO	1	9,1	8,4	0,7	1,5	-0,9
2: RCA3-E	2	8,9	7,4	1,5	2,2	-2,3
3: RegCM3	3	7,9	7,3	1,6	1,4	-3,2
4: HIRHAM5	4	11,7	7,9	1,1	4,5	1,0
5: RACMO2	5	8,8	8,0	0,8	1,3	-1,3
6: RM5.1 (Aladin)	6	9,5	9,6	1,5	3,3	-1,8
7: HadRM3Q0	7	9,0	10,5	2,2	4,8	-2,1
8: RRCM	8	7,4	10,3	1,8	1,2	-4,5
9: CLM	9	9,3	10,6	2,2	4,2	-2,6
10: PROMES	0	7,9	10,2	2,1	2,3	-4,3
11: RCA3-H	K	8,2	8,8	0,5	0,5	-1,1
12: RCA3	L	10,4	8,6	0,8	3,0	0,1
13: HIRHAM	M	7,7	8,9	1,0	-0,1	-3,4
14: RCA3-B	N	11,5	7,1	1,8	5,4	0,3
14RM: 1-14	A	9,1	8,8	0,6	0,9	-1,1
12RM: 1-3;5-13	B	8,7	9,0	0,6	0,7	-1,6
10RM: 1-3;5-7;9;11-13	C	8,9	8,8	0,5	0,6	-1,1
8RM: 1-3;5;6;11-13	D	7,9	7,4	1,4	1,0	-2,8
7RM: 1-3;5;6;11;13	E	8,6	8,3	0,6	0,5	-1,1
3RM: 1;5;11	F	6,5	6,3	2,5	0,9	-5,8
3RM: 1;2;5	G	8,9	7,9	1,0	1,4	-1,4
Proj-14RM	H	8,7	8,8	0,5	0,6	-1,0
Proj-12RM	I	8,8	8,9	0,5	0,7	-1,0
Proj-10RM	J	8,7	8,9	0,5	0,6	-1,2
Proj-8RM	K	8,6	8,8	0,5	0,4	-1,2
Proj-7RM	L	8,7	8,8	0,6	0,7	-1,0

В подтверждение уменьшения всех ошибок при осреднении результатов нескольких РКМ, ансамбль из всех РКМ (14RM) имеет гораздо меньшие величины всех ошибок по сравнению с большинством моделей, из которых состоит (табл. 1, 2). Почему ошибки взаимокомпенсировались, понятно из рис. 1, где все 14 РКМ расположены более или менее равномерно вокруг эталонного значения E-Obs, поэтому их осреднение дало весьма близкое, но несколько завышенное значение среднегодовой температуры. Если же из ансамбля убрать две самые теплые и самые удаленные на рис. 1 модели (4: HIRHAM5 и 14: RCA3-B), то, хотя средняя годовая температура и приблизится к эталону, ансамбль 12 RM имеет не лучшие, а даже некоторые (стандартное отклонение и минимальная абсолютная ошибка) худшие значения, т. е. ансамбль не будет оптимальным.

Исключение из ансамбля еще двух моделей, которые имеют значительные отрицательные абсолютные ошибки – 8: RRCM и 10: PROMES, значительно улучшило показатели полученного ансамбля из 10 РКМ, особенно в период 1991–2010 гг., когда RMSE составила всего 0,5 °C, и это абсолютный минимум данной характеристики всех РКМ и их ансамблей в оба периода. Таким образом, данный ансамбль 10RM по указанным критериям – оптимальный.

Дальнейшее исключение моделей с максимальными абсолютными ошибками (7: HadRM3Q0 и 9: CLM) из предыдущего 10 РКМ не улучшило, а значительно ухудшило показатели полученного ансамбля из 8 РКМ, что наглядно видно на рис. 1, где данный ансамбль обозначен как D, и его показатели даже за пределами зеленой зоны в оба периода. Однако дальнейшее исключение еще одной модели с значительно завышенным значением средней годовой температуры (12: RCA3), позволило

получить ансамбль из 7 РКМ, которые можно было бы отобрать по индивидуальным статистическим данным табл. 1 и 2. Данный ансамбль 7 RM по показателям близок к 10 RM в оба периода, но поскольку составлен из меньшего числа моделей, то также не будет оптимальным.

Еще несколько ансамблей представлено в табл. 1 и 2 в качестве примеров. Так ансамбль из 3 РКМ (1:REMO, 5:RACMO2, 11:RCA3-H), у которых наименьшие индивидуальные RMSE, имеет при этом самую высокую такую ошибку для обоих периодов, т. е. RMSE не может рассматриваться как самостоятельный критерий в отборе моделей в ансамбль.

Другой ансамбль из 3 РКМ (1:REMO, 2:RCA3-E, 5:RACMO2) сформирован из трех моделей, которые в стандартный период имеют наивысшие коэффициенты корреляции, а от предыдущего он отличается только тем, что граничные условия для модели RCA3 были взяты из МОЦАО ECHAM5, а не из HadCM3Q3. Этот ансамбль 3 RM имеет удовлетворительные статистические показатели и может также быть рекомендован для применения в условиях, когда нет возможности проводить расчеты температурного режима в Украине по полному ансамблю из 10 РКМ. Также в табл. 1 приведены еще несколько ансамблей, базой для которых был данный ансамбль 3RM (1; 2; 5) и к нему добавлялись поочередно модели, которые не имели значительных ошибок в представлении температуры воздуха (4 RM, 5 RM, 6 RM). Очевидно, что эти последние ансамбли имеют также вполне удовлетворительные статистические показатели, и для периода 1961–1990 гг. их RMSE даже несколько меньше, чем у 10 RM. Однако последующие исследования пространственного распределения ошибок при проведении верификации показали, что данные модели 8:RRCM покрывают не всю территорию Украины и отсутствуют на крайнем востоке страны, что делает нежелательным их использование в восточных регионах Украины. Однако в северных, западных и западной части центрального региона такие ансамбли могут применяться в условиях ограниченных вычислительных или иных ресурсов для использования полного рекомендуемого для всей территории Украины ансамбля из 10 РКМ.

Коррекция систематических погрешностей «слепого прогноза» ансамблей РКМ. Для принятия более объективного решения относительно формирования ансамбля РКМ в данном исследовании была проведена статистическая оценка данных, полученных в так называемом слепом прогнозе (blind prediction). Представленная методика была использована впервые в Украине и для территории Украины [12] и является по сути проверкой проекций температуры ансамблями РКМ на современном климатическом периоде 1991–2010 гг. **Проекция** по определению МГЕИК [1] – прогноз по сценарию, в данном случае A1B.

По сути «слепой прогноз» представляет собой получение значений температуры воздуха в будущие периоды на основе фактических данных базового периода и проекций изменения характеристики по сценарию с применением коррекции систематических погрешностей аддитивным методом. Для этого по данным ансамблей моделей: (1) определялись проекции изменения климатической характеристики, в данном случае многолетней среднемесячной температуры воздуха, в прогнозный (современный) период относительно базового (стандартного); (2) рассчитанные изменения добавлялись (аддитивный метод) к фактическим значениям E-Obs базового (стандартного) периода; (3) полученные по сути значения проекций ансамблей РКМ сравнивались с фактическими данными E-Obs современного периода 1991–2010 гг. для получения ошибок прогноза.

Таким образом, можно записать, что

$$\text{Proj}_{\text{recent}} = \text{E-Obs}_{\text{standard}} + (\text{RCM}_{\text{recent}} - \text{RCM}_{\text{standard}}), \quad (1)$$

$$\Delta_{\text{proj}} = \text{Proj}_{\text{recent}} - \text{E-Obs}_{\text{recent}} = \Delta_{\text{RCM}} - \Delta_{\text{E-Obs}}, \quad (2)$$

где $\text{Proj}_{\text{recent}}$ и Δ_{proj} – проекция климатической характеристики и ее ошибка в прогнозируемый период; $\text{E-Obs}_{\text{standard}}$, $\text{E-Obs}_{\text{recent}}$, $\text{RCM}_{\text{standard}}$ и $\text{RCM}_{\text{recent}}$ – соответственно значения E-Obs и РКМ или их ансамблей в базовый (стандартный) и прогнозный (современный) периоды. При этом, если вместо значений в современный и стандартный периоды взять соответственно в будущий и современный, то по полученной формуле можно рассчитать проекции абсолютных значений температуры воздуха по ансамблям РКМ в соответствующие будущие периоды, что и было выполнено авторами в работе [19].

Заметим, что в (1) в скобках определяется изменение климатического параметра по результатам РКМ (Δ_{RCM}). И тогда ошибка проекции (Δ_{proj}) будет определяться не по абсолютным значениям РКМ, а по успешности моделирования именно изменения характеристики ($\Delta_{\text{E-Obs}}$), что позволяет избавиться именно от систематических погрешностей РКМ. А предложенный метод получения проекций по формуле (1) с использованием значений измерений климатической характеристики в базовый период, по сути достаточно простой в реализации, но физически понятный и обоснованный метод коррекции систематических ошибок прогноза (bias correction).

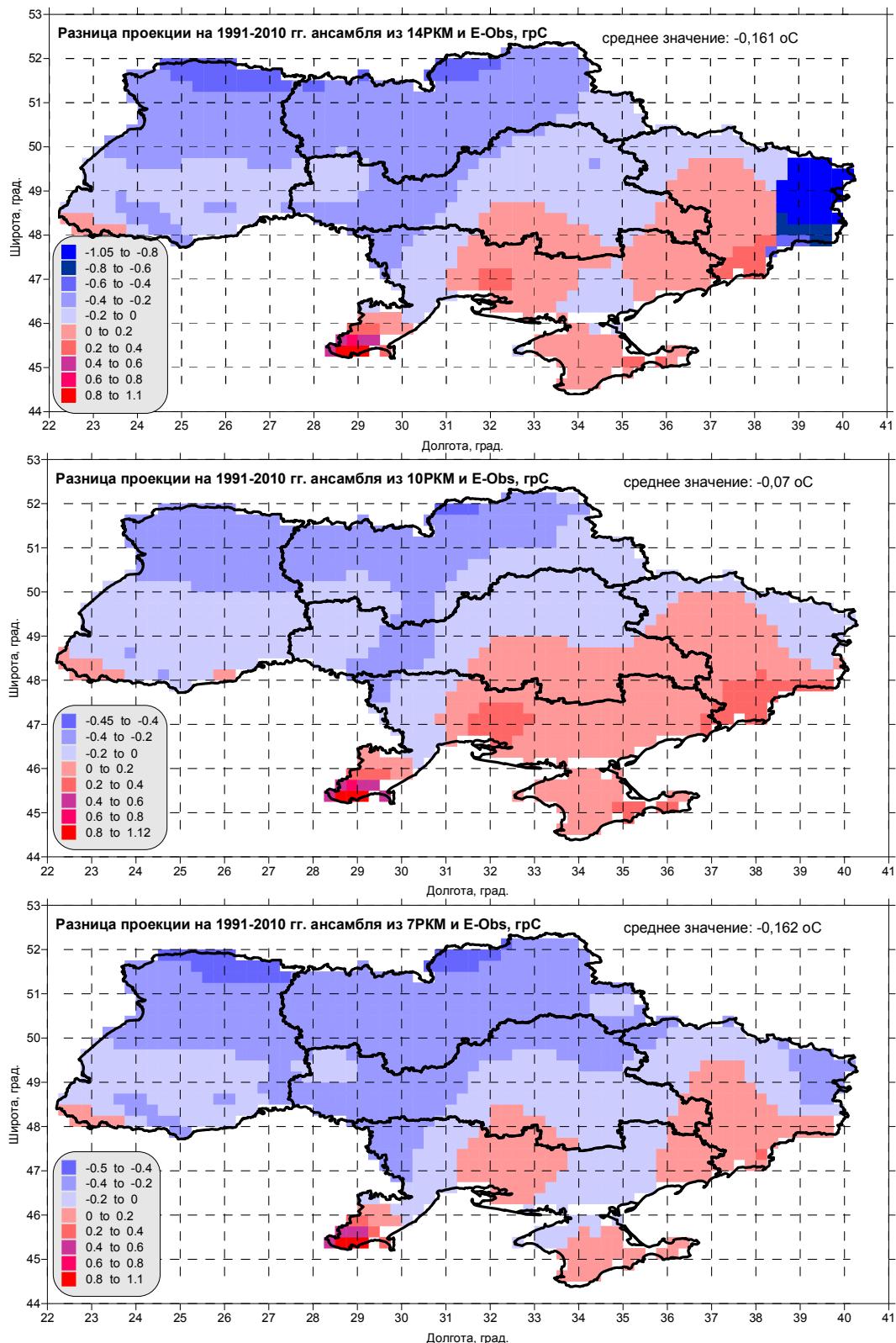


Рис. 2. Разницы проекций температуры воздуха указанных ансамблей РКМ и данных E-Obs в современный период 1991–2010 гг.

Fig. 2. Differences in temperature for 1991–2010 obtained by projections of RCMs ensembles and E-Obs data base

Целесообразность перехода от абсолютных значений температуры, прогнозируемых РКМ, к проекциям, полученным по формуле (1), доказана значительно улучшенными статистическими характеристиками, когда для пяти рассмотренных выше ансамблей РКМ и абсолютные, и среднеквадратические ошибки значительно снизились (в табл. 2 обозначено *Proj*- и ансамбль РКМ).

Также описанная выше методика прогнозирования среднемесячных температур применялась для каждого из 1175 узлов расчетной сетки на территории Украины. После чего оценивались те же статистические характеристики, которые рассматривались ранее в табл. 1 и 2, а также абсолютные погрешности (систематические ошибки) как разности между значением проекции ансамбля и фактическим значением в каждом узле сетки. На рис. 2 в качестве иллюстрации показаны распределения по площади систематических ошибок проекций изменения средней годовой температуры воздуха в современный период относительно стандартного для трех ансамблей РКМ из табл. 2.

Из анализа рис. 2 понятно, почему ансамбль из всех 14 моделей (верхняя карта) имеет не лучшие показатели: очевидно, что крайний восток страны оказался обрезанным в некоторых моделях, что дало там значительные ошибки, которые нельзя обнаружить в анализе только осредненных по площади характеристик. Поиск таких моделей обнаружил, что это модели RRCM и PROMES – те, которые имеют значительные минимальные абсолютные ошибки в табл. 1 и 2.

В центре на рис. 2 представлена оценка проекции изменения температуры оптимального ансамбля из 10 РКМ. Осредненная по площади страны абсолютная ошибка этого ансамбля составила всего $-0,07^{\circ}\text{C}$, при этом на большинстве ($> 70\%$) территории страны ошибка проекции не превышала $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, на почти 24 % она была в пределах $-0,20...-0,45^{\circ}\text{C}$, на почти 5 % доходила до $+0,4^{\circ}\text{C}$ и менее чем на 1 % площади на крайнем юго-западе вблизи границы с Румынией превышала это значение. Такие результаты вполне удовлетворительны. Заметим только, что ансамбль из 10 РКМ недостаточно воспроизвел значительное потепление на севере и западе и превысил фактические значения на юге и юго-востоке Украины, что можно считать отклонением (*bias*) данного ансамбля.

В таблицах и на рис. 2 для оценок и сравнений представлен еще один ансамбль из 7 РКМ, который можно было бы рекомендовать только по диаграмме рис. 1. По показателям этот ансамбль также достаточно удовлетворителен, но его проекция имеет, в общем, заниженные температуры на территории страны, и осредненное значение по площади составляет $-0,162^{\circ}\text{C}$, т. е. ниже, чем у 10 РКМ. Тем не менее данный ансамбль может быть предпочтительнее 10 РКМ для оценок будущих изменений климата в юго-восточных областях Украины, где его отклонения меньше.

Таким образом, верификация ансамблей региональных климатических моделей по температуре воздуха также подтвердила, что для оценок возможных изменений температурного режима в Украине в XXI в. целесообразно применять ансамбль из 10 предложенных РКМ, а также процедуру коррекции систематических погрешностей аддитивным методом для получения абсолютных значений температуры воздуха в будущие периоды.

Обсуждение, выводы и рекомендации. В связи с тем, что в последнее время результаты расчетов РКМ различных международных проектов появились в относительно свободном доступе на специализированных сайтах, их используют для многих прикладных исследований (гидрология, экология, природопользование и др.) в качестве начальных данных для оценок уязвимости и рисков под воздействием изменений климата. Это, в свою очередь, стимулировало достаточно большое количество научных публикаций, в которых изложены различные методы коррекции отклонений (*bias correction*) результатов расчетов РКМ. Так, например, в публикации [20] для коррекции суточных значений температуры и осадков проведено тестирование нескольких методов от простого масштабирования и аддитивного метода до более совершенной коррекции выравниванием по гистограммам. При этом отмечено, что простые методы хорошо справляются с коррекцией первого момента распределений (средних значений), в то время как для больших моментов скорее вносят ошибки. В то же время для применения более совершенных методов необходимы достаточно длинные ряды (не менее 30 лет) для калибровки, чтобы иметь надежные распределения для вычисления переходных функций. Однако при этом возникает необходимость пересчета этих функций, если меняются данные калибровки в контрольном периоде. К тому же калибровка на прошлых распределениях не будет учитывать возможных будущих трансформаций распределений под воздействием таких внешних факторов, как антропогенное изменение климата, что является существенным недостатком данного метода.

В представленном исследовании применен достаточно простой, но оригинальный и эффективный метод коррекции многолетних средних месячных значений температуры, в котором используются фактические данные наблюдений европейской базы E-Obs, интерполированные в узлы регулярной координатной сетки с шагом 25 км, за базовый период и прогнозируемые РКМ изменения величины, рассчитанные по формуле (1). Большой эффект в коррекции был также достигнут путем применения ансамблей РКМ. В результате разностороннего статистического анализа 14 расчетов региональных климатических моделей, выполненных в рамках Европейского проекта FP-6 ENSEMBLES по сцена-

рию SRES A1B для стандартного (1961–1990 гг.) и современного (1991–2010 гг.) климатических периодов, был сформирован оптимальный для территории Украины ансамбль из 10 РКМ, который рекомендовано применять для получения проекций изменения температуры приземного воздуха в XXI в. Осредненная по территории Украины ошибка полученного оптимального ансамбля из 10 РКМ составила $-0,07^{\circ}\text{C}$, при этом на более чем 70 % территории страны ошибка была в пределах $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, на почти 24 % она была меньше, чем $-0,2^{\circ}\text{C}$, и только для 5 % территории в прибрежных районах превышала значение $+0,2^{\circ}\text{C}$, достигая максимума в $+1,0^{\circ}\text{C}$ на юге вблизи границы с Румынией.

Полученный ансамбль из 10 РКМ для температуры воздуха позволяет получить не только средние значения, но и возможный диапазон характеристики по проекциям всех моделей как доверительный интервал с заданной надежностью, что и было представлено авторами в работе [19]. И в следующем исследовании авторы уже использовали рассчитанные по данному ансамблю значение максимального доверительного предела с надежностью 90 % для получения наиболее пессимистичного сценария изменения климатических условий для оценки уязвимости лесов Украины [21]. Также следует отметить, что верификации расчетов РКМ других климатических характеристик на территории Украины показали, что оптимальный ансамбль может состоять из других моделей. Так, для количества общей облачности оптимальный ансамбль состоит из 9 РКМ [16], а для осадков только четыре модели были отобраны из тех же 14, что и представлены здесь [17]. В то же время в работе [18] для оценок средней температуры и продолжительности отопительного периода представлены результаты верификации предложенного в данной работе оптимального ансамбля из 10 РКМ и отдельно модели REMO, которая отмечена и рекомендована выше как наиболее успешная в представлении температуры воздуха для территории Украины. При этом один из выводов последнего исследования состоит в том, что для средней температуры отопительного периода ансамбль имеет меньшие погрешности, а для продолжительности – лучшей оказалась отдельная модель REMO. Поэтому применение данных климатических моделей для оценок будущих изменений климата должно обязательно начинаться с проверки, калибровки и коррекции погрешностей. Решение применять отдельную лучшую РКМ для конкретной характеристики или формировать оптимальный ансамбль по требуемым критериям также должно определяться поставленными целями исследования. Однако в случае проведения комплексного исследования с необходимостью расчетов нескольких параметров, предпочтение все же должно отдаваться применению ансамбля численных моделей после проведения соответствующих процедур верификации и коррекции погрешностей.

Необходимо отметить, что полученный результат в виде оптимального ансамбля из 10 РКМ для температуры напрямую зависит от сценария, по которому рассчитывались модели, а также версий РКМ и физико-географических условий территории. Однако целью данной публикации было в первую очередь представить достаточно простой метод отбора РКМ в оптимальный ансамбль на примере Украины и набора РКМ, рассчитанных по сценарию A1B. Несмотря на то что данный сценарий входит в группу SRES или так называемых социоэкономических и был разработан еще в 2000 г. [4], его применение для получения проекций будущих климатических изменений наряду с более новыми сценариями RCP (Representative Concentration Pathways) [1] все еще оправдано по ряду причин: (1) для сценариев SRES так же, как и для RCP при моделировании задаются пространственно-временные распределения содержания в атмосфере парниковых газов, т. е. принципиально эти две группы сценариев не отличаются и используются на равных, например, в Пятом оценочном докладе Второй рабочей группы МГЕИК 2014 г.; (2) данный сценарий A1B оказался наиболее близким к реальным изменениям температурного режима в Украине в последние десятилетия, что подтверждает актуальность предложенного ансамбля 10 РКМ как базового для получения будущих проекций.

Вместе с тем следует отметить, что наряду с неопределенностями природного характера, которые присущи любым климатическим прогнозам, на данный момент наиболее непредсказуемой является именно антропогенная составляющая, которая будет существенно зависеть как от национальных, так и от международных политик в области смягчения воздействия человека на климатическую систему. Поэтому уже появились сценарии, которые в соответствии с Парижским климатическим соглашением 2015 г., представляют возможные варианты удержания роста глобальной температуры в пределах $1,5\text{--}2,0^{\circ}\text{C}$ до конца XXI в. Тем не менее предложенный метод отбора моделей в оптимальный ансамбль и коррекции ошибок прогноза будет работать с данными любых численных климатических моделей, рассчитанных по любым сценариям.

Автор данной статьи выражает признательность за использование данных Европейского проекта FP-6 ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) и базы данных E-Obs проекта European Climate Assessment & Dataset (<http://www.ecad.eu>), а также благодарность рецензенту за ценные замечания, комментарии и в целом глубокий анализ статьи и рекомендации по улучшению изложения.

Список использованных источников

1. 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. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.). – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 1535 pp.
2. Зміни інтенсивності, повторюваності та локалізації небезпечних явищ погоди в Україні та їх регіональні особливості [Електронний ресурс] / В. О. Балабух [та інш.] // Системи контролю навколишнього середовища : зб. наук. праць МГІ НАНУ. – 2013. – Вип. 19. – С. 15–24. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/.../Intensity-frequency-and-loca>. – Дата доступа: 12.12.2017.
3. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
4. Nakicenovic, N., and R. Swart (eds.), 2000: Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 599 p.
5. Моделі загальної циркуляції атмосфери та океанів у прогнозуванні змін регіонального клімату України в ХХІ ст. [Електронный ресурс] / С. В. Krakovska [та інш.] // Геофизический журнал. – 2011. Т. 33, № 6. – С. 68–81. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/97123?show=full>. – Дата доступа: 12.12.2017.
6. Климат России в ХХI веке. Ч. 3 : Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана CMIP3 [Электронный ресурс] / Мелешко, В. П. [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 9. – С. 5–21. – Режим доступа: <http://www.mig-journal.ru/archive?id=1096>. – Дата доступа: 12 декабря 2017.
7. Sorobov, R. M. Use of climate modeling outputs for regionalization of global climate projections / R. M. Sorobov, A. V. Overcenko // Problems of Ecological Monitoring and Ecosystem Modelling. – Saint Petersburg : Gidrometeoizdat, 2007. – Vol. XXI. – P. 122–145.
8. Kharin, V. V. Climate Predictions with Multimodel Ensembles [Electronic resource] / V. V. Kharin, F. W. Zwiers // Journal of Climate. – 2002. – № 15. – P. 793–799. – Mode of access: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<0793:CPWME>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<0793:CPWME>2.0.CO;2). – Date of access: 12.12.2017.
9. Giorgi, F. Calculation of Average, Uncertainty Range, and Reliability of Regional Climate Changes from AOGCM Simulations via the “Reliability Ensemble Averaging” (REA) Method [Electronic resource] / F. Giorgi, L. O. Mearns // Journal of climate. – 2002. – № 15. – P. 1141–1158. – Mode of access: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<1141:COAURA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<1141:COAURA>2.0.CO;2). – Date of access: 12.12.2017.
10. Regional Climate Projections // Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the Fourth Assessment Report of the IPCC / S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.). – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. – 94 p.
11. ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project / P. van der Linden, J. F. B. Mitchell (eds.) // Met Office Hadley Centre ; FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. – 2009. – 160 p.
12. Оптимальные ансамбли региональных климатических моделей для территории Украины [Электронный ресурс] // Шестое Национальное сообщение Украины по вопросам изменения климата. Раздел 8.2 : Исследования. – 2013. – С. 242–250. – Режим доступа: http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/application/pdf/6nc_v7_final_%5B1%5D.pdf. – Дата доступа: 12.12.2017.
13. Krakovska, С. В. Зміни поверхневого річкового стоку в Україні до 2050 р. за проекцією регіональної кліматичної моделі PEMO [Электронный ресурс] / С. В. Krakovska, Н. В. Гнатюк // Геоінформатика. – 2013. – № 3. – С. 76–81. – Режим доступа: <http://www.geology.com.ua/UK/2348-2/>. – Дата доступа: 12.12.2017.
14. A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature, precipitation and sea-level pressure / M. Haylock [et al.] // J. Geophys. Res., 2008113, D20119. – doi:10.1029/2008JD010201
15. Шедеменко, І. П. Верифікація даних Європейської бази Е-OBS щодо приземної температури повітря та кількості опадів у адміністративних областях України [Электронный ресурс] / І. П. Шедеменко, С. В. Krakovska, Н. В. Гнатюк // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2012. – № 262. – С. 71–90. – Режим доступа: http://uhmi.org.ua/pub/np/262/Shedemenko_Krakovska_et_al_262.pdf. – Дата доступа: 12.12.2017.
16. Загальна хмарність в Україні до середини ХХІ ст. за даними ансамблю региональних кліматичних моделей [Электронный ресурс] / С. В. Krakovska [та інш.] // Геоінформатика. – 2017. – № 3(63). – С. 56–66. – Режим доступа: <http://www.geology.com.ua/UK/geoinformatika-2017-363-56-66/>. – Дата доступа: 12.12.2017.
17. Зміни поля опадів в Україні у ХХІ ст. за даними ансамблю региональних кліматичних моделей [Электронный ресурс] / С. В. Krakovska [та інш.] // Геоінформатика. – 2017. – № 4(64). – С. 62–74.
18. Krakovska, С. В. Електронні бази метеорологічних даних та результати чисельних кліматичних моделей у визначені специалізованих кліматичних показників [Электронный ресурс] / С. В. Krakovska, Л. В. Паламарчук, Т. М. Шпіталь // Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія : період. наук. зб. КНУ ім. Тараса Шевченка. – Київ, 2016. – Том 3 (42). – С. 95–105. – Режим доступа: http://www.library.univ.kiev.ua/viking/db/ftp/univ/ggg/ggg_2016_42.pdf. – Дата доступа: 12.12.2017.
19. Проекції змін приземної температури повітря за даними ансамблю региональних кліматичних моделей у регіонах України в ХХІ столітті / С. В. Krakovska [та інш.] // Наук. пр. УкрНДГМІ. – К., 2016. – Вип. 268. – С. 33–44. – Режим доступа: http://uhmi.org.ua/pub/np/268/krakovska_gnatiusk_shpytal_palamarchuk.pdf. – Дата доступа: 12.12.2017.

20. Berg, P. Bias correction of high resolution regional climate model data [Electronic resource] / P. Berg, H. Feldmann, H.-J. Panitz // Journal of Hydrology. – 2012. – Vol. 448. – P. 80–92. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.04.026>. – Date of access: 12.12.2017.
21. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change [Electronic resource] / A. Shvidenko [et al.] // Sustainability. – 2017. – Vol. 9, iss. 7 1152. – doi:10.3390/su9071152. – Дата доступа: 12.12.2017.

References

1. 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. Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
2. Balabukh V., Lavrynenko O., Yahodynets S., Malitskaya L., Bazalieieva Y. *Zminy intensivnosti, povtoriuvanosti ta lokalizatsii nebezpechnykh iavysch pogody v Ukrainsi ta ikh regional'ni osoblyvosti* [Intensity, frequency and localization change of hazardous weather events in Ukraine and their regional features]. Zbirnyk naukovykh prats MHI NANU «Systemy kontroliu navkolyshnoho seredovishcha» [Environmental Control Systems. Marine Hydrophysical Institute NASU.– Sevastopol], 2013.V.19. pp.189–198. Available at: <https://www.researchgate.net/.../Intensity-frequency-and-localization-change-of-hazardous-weather-events-in-Ukraine-and-their-regional-features> (Accessed 12 December 2017).
3. Loginov V. F. *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata: prichiny i sledstviya* [Global and Regional Climate Change: Causes and Consequences]. Minsk, 2008, 496 p.
4. Nakićenović N., and Swart R. (eds.), 2000: *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 p.
5. Krakovska S. V., Palamarchuk L. V., Shedemenko I. P., Djukel G. O., Gnatiuk N. V. *Modeli zagal'noi tsirkulyatsii atmosfery ta okeaniv u prognozuvanni zmin regional'nogo klimatu Ukrainsi v XXI st* [Models of general circulation of the atmosphere and the oceans in forecasting the changes of regional climate of Ukraine in the XXI century]. *Geofizicheskiy zhurnal = Geophysical journal*, 2011, no. 6, vol. 33, pp. 68–81. Available at: <http://dspace.nbuu.gov.ua/handle/123456789/97123?show=full> (Accessed 12 December 2017).
6. Meleshko V. P., Kattsov V. M., Govorkova V. A., Sporyshev P. V., Shkol'nik I. M., Shneerov B. E. *Klimat Rossii v XXI veke. Chast' 3. Budushchie izmeneniya klimata, rasschitannye s pomoshch'yu ansambylya modeley obshchey tsirkulyatsii atmosfery i okeana CMIP3* [Climate of Russia in the 21st Century. Part 3. Future Climate Changes Obtained from an Ensemble of the Coupled Atmosphere-Ocean GCM CMIP3]. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2008, no. 9, pp. 5–21. Available at: <http://www.mig-journal.ru/archive?id=1096> (Accessed 12 December 2017).
7. Corobov R. M., Overcenko A. V. 2007: Use of climate modeling outputs for regionalization of global climate projections. *Problems of Ecological Monitoring and Ecosystem Modelling*. Vol. XXI. StPetersburg, pp. 122–145.
8. Kharin V. V., and Zwiers F. W. 2002. Climate Predictions with Multimodel Ensembles. *Journal of Climate*, no. 15, pp. 793–799. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<0793:CPWME>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<0793:CPWME>2.0.CO;2) Available at: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2002\)015<0793:CPWME>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2002)015<0793:CPWME>2.0.CO;2) (Accessed 12 December 2017).
9. Giorgi F., and Mearns L. O. 2002. Calculation of Average, Uncertainty Range, and Reliability of Regional Climate Changes from AOGCM Simulations via the “Reliability Ensemble Averaging” (REA) Method. *Journal of climate*, no. 15, pp. 1141–1158. [https://DOI.ORG/10.1175/1520-0442\(2002\)015<1141:COAURA>2.0.CO;2](https://DOI.ORG/10.1175/1520-0442(2002)015<1141:COAURA>2.0.CO;2).
10. *Regional Climate Projections*. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of WG I to the Fourth Assessment Report of the IPCC [Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M. and Miller H. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007, 94 p.
11. van der Linden P., and Mitchell J. F. B. (eds.). *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre :2009. FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 p.
12. *Optimal'nye ansamblи regional'nykh klimaticeskikh modeley dlya territorii Ukrainsi* [Optimal ensembles of regional climate models for the territory of Ukraine]. Shestoe Natsional'noe soobshchenie Ukrainsi po voprosam izmeneniya klimata. Razdel 8.2. Issledovaniya. [The Sixth National Communication of Ukraine on Climate Change. Section 8.2. Research]. 2013, pp. 242–250. Available at: http://unfccc.int/files/national_reports/annex_i_natcom/submitted_natcom/application/pdf/6nc_v7_final_%5B1%5D.pdf (Accessed 12 December 2017).
13. Krakovska S. V., Gnatiuk N. V. *Zminy poverkhnevoho richkovoho stoku v Ukrainsi do 2050 r. za proektsiieiu rehionalnoi klimatychnoi modeli REMO* [Changes of surface river runoff in Ukraine till 2050 based on the projection of regional climate model REMO]. *Geoinformatika*, 2013, no 3, pp. 76–81. Available at: <http://www.geology.com.ua/UK/2348-2/> (Accessed 12 December 2017).
14. Haylock, M., Hofstra N., Klein Tank A. M. G., Klok E. J., Jones P. D., and New M. (2008), *A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature, precipitation and sea-level pressure*, J. Geophys. Res., 113, D20119, doi:10.1029/2008JD010201.
15. Shedemenko I. P., Krakovska S. V., Gnatiuk N. V. *Veryifikatsiya dannykh Evropeyskoy bazy E-OBS schodo prizemnoi temperatury povitria ta kil'kosti opadiv u administrativnykh oblastiakh Ukrainsi* [Verification of surface temperature and precipitation from European gridded data set E-OBS for administrative regions in Ukraine]. *Nauchnye trudy UkrNIGMI* [Proc. of the Ukrainian Hydrometeorological Institute], 2012, no. 262, pp. 71–90. Available at: http://uhmi.org.ua/pub/np/262/Shedemenko_Krakovska_et_al_262.pdf (Accessed 12 December 2017).

16. Krakovska S. V., Palamarchuk L. V., Bilozerova A. V., Shpytal T. M. *Zahalna khmarnist v Ukrainsi do seredyny XXI st. za danymi ansambliu rehionalnykh klimatychnykh modelei* [Total cloud cover in Ukraine till the mid-21st century based on the data of an ensemble of regional climate models]. *Geoinformatika*, 2017, no. 3(63), pp. 56–66. Available at: <http://www.geology.com.ua/UK/geoinformatika-2017-363-56-66/> (Accessed 12 December 2017).
17. Krakovska S. V., Palamarchuk L. V., Gnatiuk N. V., Shpytal T. M., Shedemenko I. P. *Zminy polia opadiv v Ukrainsi u XXI st. za danymi ansambliu rehionalnykh klimatychnykh modelei* [Changes in precipitation distribution in Ukraine for the 21st century based on data of regional climate model ensemble]. *Geoinformatika*, 2017, no. 4(64), pp. 62–74.
18. Krakovska S. V., Palamarchuk L. V., Shpytal T. M. *Elektronni bazy meteorolohichnykh danykh ta rezul'taty chyselnykh klimatychnykh modelei u vyznachenni spetsializovanykh klimatychnykh pokaznykiv* [Electronic databases of meteorological data and the results of numerical climate models in the determination of specialized climatic indicators]. *Hidrolohiia, hidrokhimia ta hidroekolohiia: period. nauk. zb. KNU im. Tarasa Shevchenka [Hydrology, hydrochemistry and hydroecology: The scientific collection Taras Schevchenko National University of Kyiv]*, 2016, vol. 3 (42). pp. 95–105. http://www.library.univ.kiev.ua/ukr/host/viking/db/ftp/univ/ggg/ggg_2016_42.pdf (Accessed 12 December 2017).
19. Krakovska S. V., Gnatiuk N. V., Shpytal T. M., Palamarchuk L. V. *Proektii zmin pryzemnoi temperatury povitria za danymi ansambliu rehionalnykh klimatychnykh modelei u rehionakh Ukrainsi v XXI stolittsi* [Projections of surface temperature changes based on data of regional climate models' ensemble in the regions of Ukraine in the 21st century]. Nauk. pr. UkrNDHMI, K. [Proc. of the Ukrainian Hydrometeorological Institute, Kyiv]. 2016, no. 268, pp. 33–44. Available at: http://uhmi.org.ua/pub/np/268/krakovska_gnatiuk_shpytal_palamarchuk.pdf (Accessed 12 December 2017).
20. Berg P., Feldmann H., and Panitz H.-J. Bias correction of high resolution regional climate model data. *Journal of Hydrology*. 2012, vol. 448, pp. 80–92. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.04.026> (Accessed 12 December 2017).
21. Shvidenko A., Buksha I., Krakovska S., Lakyda P. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. *Sustainability*, 2017, vol. 9, iss. 7 1152, doi:10.3390/su9071152 (Accessed 12 December 2017).

Информация об авторе

Краковская Светлана Владимировна – канд. физ.-мат. наук, ст. науч. сотрудник, Украинский гидрометеорологический институт ГСЧС и НАН Украины (проспект Науки 37, 03028, Киев, Украина.). E-mail: SvitlanaKrakovska@gmail.com

Information about the author

Svitlana Krakovska – Ph.D. (Physical and Mathematical), Senior Researcher, Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Service of Emergencies of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine (37, Prospekt Nauky, 03028, Kyiv, Ukraine). E-mail: SvitlanaKrakovska@gmail.com

ПРЕДПОСЫЛКИ И ДИНАМИКА РАЗВИТИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В СТРАНАХ СНГ И БЕЛАРУСИ

А. И. Курочкина

Институт экономики НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье изложены основные тренды развития ветроэнергетики в СНГ. Также рассматриваются некоторые тенденции, характерные для Европы в целом как региона, где ветроэнергетика уже достигла больших успехов. Выявлено, что для Европы характерно снижение темпов роста мощности ветроэнергетики в последние годы, в то время как для стран СНГ и Восточной Европы напротив свойственен стремительный рост этого показателя. Польша в 2015 г. заняла 12-е место в мире по мощности ветроэнергетики, Украина вышла на 1-е место среди стран СНГ по этому показателю. Кроме того, в статье рассматривается динамика развития ветроэнергетики в Беларуси. С 2013 г. отмечается прирост мощности ветроэнергетики в Беларуси, в первую очередь в рамках проекта ПРООН «Устранение барьеров для развития ветроэнергетики в Республике Беларусь». К настоящему моменту в Республике Беларусь работают более 60 ветроэнергетических установок, общей мощностью более 50 МВт. Анализ природных условий и существующей нормативно-правовой базы как в Беларуси, так и в других странах СНГ и Европы показал, что при государственной поддержке направленной на поощрение развития ветроэнергетики, совершенствование тарифной политики и привлечение инвестиций, ветроэнергетика может стать одной из самых востребованных отраслей альтернативной энергетики в странах СНГ и Беларуси.

Ключевые слова: ветроэнергетика; СНГ; установленная мощность; ветроэлектростанции (ВЭС); топливно-энергетические ресурсы; проект ПРООН.

Для цитирования: Курочкина А. И. Предпосылки и динамика развития ветроэнергетики в странах СНГ и Беларусь // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 127–134.

PRECONDITIONS AND THE DYNAMICS OF WIND ENERGY DEVELOPMENT IN THE CIS COUNTRIES AND BELARUS

A. I. Kurachkina

Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The article describes the main trends in the development of wind energy in the CIS. Also it discusses some of the trends typical for Europe, as a region, where wind power has already achieved great success. It was revealed that Europe is characterized by a slowdown in development of wind energy in recent years, while the CIS and Eastern Europe on the contrary is characteristic of the rapid growth of this indicator. Poland in 2015, ranked 12th in the world in wind power, Ukraine took the 1st place among the CIS countries. In addition the dynamics of the wind energy development in Belarus was analyzed in the article. Government policy on wind energy in Poland, Ukraine, Russia and Belarus was reviewed too. Results of the analysis of natural conditions and the existing legal framework in Belarus and in other countries of the CIS and Europe showed that public support aimed at promoting development of wind energy, improving tariff policy and attracting investments can make wind energy one of the most popular branches of alternative energy in the CIS and Belarus.

Keyword: wind energy; the CIS; the installed capacity of wind power plant (WPP); fuel and energy resources; the UNDP project.

For citation. Kurachkina A. I. Preconditions and the dynamics of wind energy development in the CIS countries and Belarus. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 127–134.

Сегодня большинство стран СНГ являются импортёрами основных топливно-энергетических ресурсов, таких как нефть и газ (табл. 1). В Молдове, Азербайджане, Армении, Беларуси, Туркменистане и Узбекистане газ обеспечивает более 60 % потребляемой энергии. При этом только Туркменистан, Таджикистан и Азербайджан имеют положительное сальдо экспорта-импорта газа. Нефть находится на 2-м месте в структуре валовых затрат топливно-энергетических ресурсов в большинстве стран СНГ, при этом Киргизстан, Беларусь и Украина являются импортёрами нефти [11]. Основным экспортёром топливных ресурсов для этих стран является Россия. Для обеспечения энергетической безопасности и самостоятельности стран СНГ, не обладающих собственными энергетическими ресурсами, необходимо искать пути диверсификации импорта, развивать местные и возобновляемые источники энергии. Однако доля возобновляемых источников энергии в структуре энергетики стран СНГ пока составляет менее 1 %.

Таблица 1. Структура валовых затрат топливно-энергетических ресурсов в Беларуси и некоторых странах СНГ (2014 г.) [11]**Table 1. The gross costs of fuel and energy resources in Belarus and some CIS countries (2014) [11]**

Страна	Валовое потребление, т н. э.	Газ, %	Ядерная энергия, %	Биотопливо, %	Гидроэнергетика, %	Геотермальная, солнечная и ветровая энергия, %	Нефть, %	Уголь, %
Беларусь	27,746	61,8	—	5,3	—	—	29,8	3,1
Россия	711,0	52,2	6,7	1,0	2,1	—	23,4	14,6
Азербайджан	14,322	67,2	—	1,1	0,8	—	30,9	—
Армения	2,959	61,7	21,0	1,1	5,6	—	10,6	—
Украина	106,0	31,4	21,8	1,8	0,7	0,8	10,0	33,4
Казахстан	76,667	33,8	—	—	0,9	—	17,0	48,2
Кыргызстан	3,795	6,0	—	0,1	30,3	—	32,7	31,0
Молдова	3,302	63,5	—	8,7	0,8	—	24,1	2,9
Таджикистан	2,805	9,1	—	—	47,2	—	30,3	13,4
Туркменистан	26,749	75,9	—	—	—	—	24,1	—
Узбекистан	43,667	87,7	—	—	2,3	—	6,4	3,6

Ветровая энергетика является самым активно развивающимся сектором альтернативной энергетики. В мировой структуре альтернативных источников энергии (АИЭ) доля ветра составляет 40,9 % (2014 г.). К альтернативным источникам энергии были отнесены те, использование которых ввиду ряда причин не вошло в широкую практику [3]: энергоустановки, работающие на бытовых и промышленных отходах, твердом и жидким биотопливом, биогазе, а также геотермальные, термальные и фотоэлектрические солнечные, приливные и волновые, ветровые электростанции. Энергия ветра лидирует в структуре АИЭ не только мира, но и отдельных регионов. В Европе доля ветроэнергетики составляет 32,4 %, в Северной Америке – 58,5, в Австралии – 43,4, в Азии – 45,9, в Африке – 43,4 %. Только в Латинской Америке 1-е место в структуре АИЭ остается за твердым биотопливом, но и здесь доля ветра высока и составляет 24,3 % [11].

Активное развитие ветроэнергетики связано в первую очередь с её экологическими преимуществами. Две трети выбросов парниковых газов приходятся на долю энергетики. В 2,0 раза – с 18 до 36 % с учетом гидрогенерации – должна вырасти доля возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в мировом энергобалансе, чтобы достичь цели Парижского климатического соглашения по удержанию роста глобальной температуры в пределах двух градусов по Цельсию [6]. Ветроэнергетика является одним из самых перспективных путей достижения этой цели на сегодня. Ветрогенераторы в процессе эксплуатации не потребляют ископаемого топлива, работа ветроэнергетической установки (ВЭУ) мощностью 1 МВт за 20 лет позволяет сэкономить примерно 29 тыс. т угля или 92 тыс. баррелей нефти. Ветрогенератор мощностью 1 МВт сокращает ежегодные выбросы в атмосферу – 1800 т CO₂, 9 т SO₂, 4 т оксидов азота [4]. Эмиссия парниковых газов при производстве энергии на ВЭУ в 4,0 раза ниже, чем на солнечных электростанциях и в десятки раз ниже, чем при переработке газа угля и нефти (рис. 1) [9]. По оценкам Global Wind Energy Council, к 2050 году мировая ветроэнергетика позволит сократить ежегодные выбросы CO₂ на 1,5 млрд т [4].

Однако следует учитывать, что существуют факторы непосредственного воздействия работающих ВЭУ и ветроэлектростанций (ВЭС) на окружающую среду и человека: отчуждение земель; акустическое воздействие; экранирующее воздействие, возможность климатических изменений; помехи для теле- и радиопередач, средств связи; влияние на ихтио- и орнитофауну; ландшафтная несовместимость, визуальное невосприятие; последствия аварий. Кроме того, эффективность работы таких станций во многом зависит от климатических и ландшафтных условий [4].

Европа стояла у истоков мировой ветроэнергетики и на сегодня доля региона в общей мощности составляет 34,1 %, а установленная мощность ветроэнергетики в Европе – 147,7 ГВт. По этому показателю Европа уступает только Азии, где установленная мощность ветроэнергетики в 2015 г. составила 175,8 ГВт (40,6 %), что обусловлено в первую очередь выходом Китая на 1-е место в мире по данному показателю. В настоящее время ветроэнергетика в Европейском Союзе обеспечивает 11,4 % (2015 г.) потребляемой электроэнергии [10].

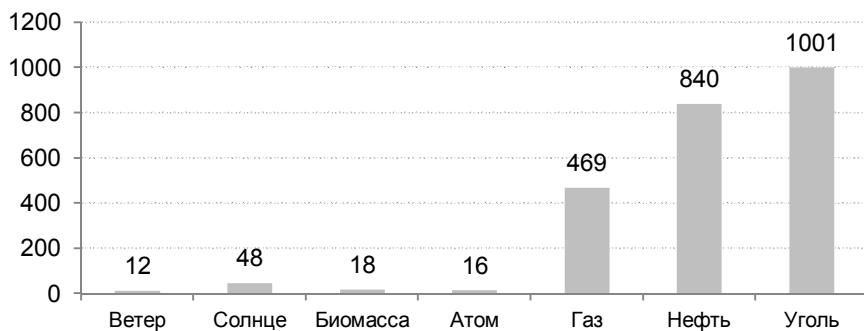


Рис. 1. Удельные выбросы парниковых газов, грамм CO₂ экв/кВт·ч [9]

Fig. 1. Proportion of greenhouse gas emissions, grams CO₂ EQ/kW·h [9]

Активное развитие ветроэнергетики в Европе началось в 1990-х годах, когда структура АИЭ Европы претерпела значительные изменения. Так, если в 1990 г. по объему производства энергии лидировали установки, работающие на твердом биотопливе (58,6 %), то уже в середине 1990-х годов их доля начала быстро сокращаться и в 2011 г. составила всего 29,7 %, а на 1-е место в структуре производства вышли ветровые энергоустановки (0,77 % – в 1990 г.; 30,1 % – в 2011 г.). К 2014 г. доля ветра в структуре АИЭ выросла до 32,45 % [11].

Следует отметить, что темпы прироста ветроэнергетических мощностей в Европе в последние годы существенно замедлились. Так, в 2015 г. прирост мощности составил 9,2 % [9], в 2014 г. этот показатель был равен 10,4 %, в 2013 г. – 11,0, в 2012 г. – 14,0 % (максимум за последние 5 лет). Однако 34 Европейские страны имеют больше ветровых установок, чем любой другой регион земного шара. Самые высокие темпы прироста в Европе в 2014 г. характерны для Исландии – 67 %, Финляндии – 40, Украины – 34 % [12].

Несмотря на снижение темпов прироста ветроэнергетических мощностей в Западной Европе, наблюдается активное развитие этого сектора энергетики в странах Восточной Европы и СНГ. Ветроэнергетика получила развитие в Беларуси, России, Украине, Армении, Азербайджане, Молдове и Казахстане. Во всех анализируемых странах наблюдается увеличение объемов производства электроэнергии на ветроэлектростанциях (табл. 2) [11].

Среди стран СНГ максимальный прирост мощностей характерен для Украины, в 2014 г. он составил 126 МВт, также высок прирост в Азербайджане (50 МВт) и Казахстане (38,4 МВт). Благодаря большому приросту мощности ветроэнергетики в последние годы Украина стала лидером среди стран СНГ, мощность ветроэнергетики в 2014 г. здесь составила 409,5 МВт (рис. 2) [12]. Ветроэнергетика Украины в 2012 г. вдвое нарастила мощность, и этот показатель продолжает расти.

Ветропарки континентальной части Украины за 2014 г. произвели 1123,7 млн кВт·ч электроэнергии, что соответствует около 0,62 % от общей генерации электроэнергии в стране. В 2013 г. ветроэнергетика произвела около 638 млн кВт·ч электроэнергии. Только в течение 2014 г. «зеленая» электроэнергия, выработанная ветропарками, позволила сократить выбросы углекислого газа в атмосферу на более чем 500 тыс. т.

Ветроэнергетика лидирует и в структуре производства электроэнергии за счет ВИЭ, её доля составляет более 50 %. По мнению экспертов Украинской ветроэнергетической ассоциации, мощность ветроэнергетики Украины может достичь 3000 МВт к концу 2020 г. [7].

Таблица 2. Производство электроэнергии на ветровых электростанциях, ГВт·ч [11]

Table 2. The production of electricity in wind power plants, GW·h [11]

Страна	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Беларусь	1	1	6	8	11
Россия	4	5	5	5	96
Украина	50	89	288	639	1130
Армения	7	3	4	4	4
Азербайджан	1	0	0	1	2
Казахстан	0	0	3	5	13
Молдова	0	0	0	1	1

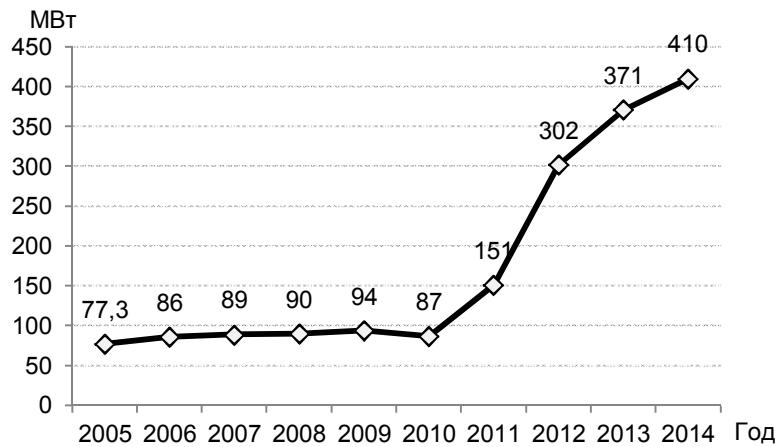


Рис. 2. Динамика установленной мощности ветроэнергетики Украины, МВт [12]

Fig. 2. The dynamics of the installed capacity of Ukrainian wind energy, MW [12]

В 2008 г. в Украине был принят закон о «зеленом тарифе», один из обязательных пунктов которого гласит, что местная составляющая в энергетике должна быть не менее 30 %. Цель введения зеленого тарифа – стимулирование развития новых видов энергетических ресурсов, привлечение инвестиций в технологии использования возобновляемых источников энергии.

Кроме того, Украина стала обладательницей собственного производства ветротурбин в Краматорске (Донецкая обл.). Компания «Фурлендер Виндтехнолоджи» (подразделение «УК «Ветряные парки Украины») начала осуществление масштабного проекта строительства мощного ветрокомплекса в Казахстане (300 МВт), для которого планируется произвести 150 агрегатов. Первая очередь ветропарка уже пущена в 2014 г. Там работает несколько десятков ветротурбин краматорского производства [7].

Второй страной после Украины, в которой был введен «зеленый» тариф на производство электроэнергии за счет ВИЭ, стал Казахстан. В соответствии с законом Республики Казахстан от 4 июля 2009 г. «О поддержке использования возобновляемых источников энергии», 12 июня 2014 г. правительство этой страны приняло постановление, предусматривающее фиксированные тарифы на поставку электрической энергии, производимой объектами возобновляемых источников. Срок действия тарифов – 15 лет. Первая в Казахстане экспериментальная ветроэнергетическая станция, состоящая из двух ветрогенераторов мощностью по 750 кВт каждый, была введена в эксплуатацию в декабре 2011 г. в Жамбыльской области. К концу 2014 г. постановлением правительства был утвержден перечень проектов в области использования ВИЭ до 2020 г. Запланировано ввести в эксплуатацию порядка 104 объектов ВИЭ суммарной установленной мощностью 2741,95 МВт, включая ВЭС суммарной мощностью 1647 МВт.

До принятия «зеленого» тарифа в 2013 г. был проведен тендер на выполнение работ по проектированию, поставке и строительству ВЭС, состоящей из современных ветротурбин мегаваттного класса. Победителями тендера был разработан проект строительства Ерейментауского ветропарка. Строительство первой очереди ветропарка мощностью 45 МВт было завершено в 2015 г. Строительство второй очереди мощностью 50 МВт финансируется за счет кредита Европейского банка реконструкции и развития (ЕБРР) и Фонда чистых технологий. Таким образом, после введения в эксплуатацию второй очереди установленная мощность Ерейментауского ветропарка составит 95 МВт. С учётом введения новых мощностей на других площадках, включая девять запланированных ветротурбин Кордайской ветроэлектростанции, к середине 2015 г. установленная мощность ветроэнергетических станций в Казахстане составила 55,7 МВт [1].

В последние годы поддержка развития возобновляемой энергетики осуществляется и в Российской Федерации. Система поддержки ВИЭ на оптовом рынке действует с 2013 г. В соответствии с постановлением Правительства РФ от 28.05.2013 г. № 449 «О механизме стимулирования использования ВИЭ на оптовом рынке электроэнергии и мощности», раз в год ОАО «АТС» отбирает проекты строительства ветровых электростанций, солнечных электростанций и малых ГЭС, с которыми будут заключены договоры на поставку мощности, гарантирующие возврат инвестиций за счет повышенных платежей потребителей.

Сегодня Россия получает 16,8 МВт мощности от ветропарков. Крупнейшая ветроэлектростанция находится в районе поселка Куликово Зеленоградского района Калининградской области, другие

большие электростанции есть на Чукотке, в Башкортостане, Калмыкии и Коми. На юге, северо-западе и востоке страны существуют площадки, готовые для строительства ветропарков, мощностью около 2500 МВт. Также определён ряд площадок для будущих проектов, общий ветроэнергетический потенциал которых более 3000 тыс. МВт. Тем не менее на долю ветровой энергетики в России сейчас приходится только 0,5–0,8% в общем энергобалансе [7].

Среди стран Восточной Европы показателен опыт Польши, которая сейчас является одним из лидеров по темпам развития ветроэнергетики в Европе. В 2014 г. в Польше было введено 444 МВт новых мощностей [12], в 2015 г. – 1266 МВт, в результате по итогам 2015 г. установленная мощность ветроэнергетики составила 5100 МВт (12-е место в мире) (рис. 3), что обеспечивает 6,22% потребляемой в стране электроэнергии. Следует также отметить, что, несмотря на большой потенциал для развития оффшорной ветроэнергетики, все ВЭС в Польше являются наземными, что позволяет сравнивать ветроэнергетический потенциал Польши и Беларуси, учитывая схожесть природных условий [10].

Столь быстрое развитие ветроэнергетики в Польше, связано с проведением государственной политики направленной на развитие ветроэнергетики в стране. В соответствии с Энергетическим актом Польши предусмотрена выдача различных сертификатов, подтверждающих, что продавец произвел и продал на рынке определенный объем возобновляемой энергии. Зелёный сертификат выдаётся на генерацию энергии за счет использования ВИЭ (солнечной, ветряной энергии, энергии приливов, волн, гидроэнергетики, биотоплива, биогаза).

Закон об энергетике обязывает производителей и поставщиков электроэнергии приобретать определенную квоту зеленых сертификатов (сертификатов о происхождении). В противном случае компании могут оплатить пошлину. Невыполнение ни одного из этих требований влечет за собой штраф. Производители электроэнергии могут также продавать свою электроэнергию на рынке или предлагать ее поставщику по рыночным ценам прошлого года. Производители электроэнергии, подлежащие системе квот, могут получать гранты и субсидии [7].

В Беларусь развитие альтернативной энергетики, началось в середине 90-х годов. В настоящее время производство энергии на АИЭ не получило широкого распространения. Доля АИЭ в общем производстве энергии в 2014 г. составила 5,5% (максимальное значение за последние 20 лет). Значительная часть производимой энергии приходится на твёрдое биотопливо (95,5%). Доля ветровой энергетики в структуре АИЭ составляет всего 0,2% (2014 г.). Однако в последние годы отмечается значительный прирост мощностей ветроэнергетики. По данным Национального статистического комитета Республики Беларусь объём производства электроэнергии на ВЭУ составил в 2010 г. 1 ГВт·ч/год, а в 2016 г. уже 75 ГВт·ч/год [8].



Рис. 3. Динамика мощности и темпов прироста ветроэнергетики в Польше [10]

Fig. 3. The dynamics of power and the rate of growth of wind energy in Poland [10]

Оптимальная средняя скорость ветра для эффективной работы ветроэлектростанций составляет 7–8 м/с, территории со скоростью ветра менее 5 м/с считаются малопригодными для ветроэнергетики, поэтому размещение ветроустановок требует специальных исследований и анализа их внедрения [2]. Следует учитывать, что рассматривается скорость ветра на высоте 50–150 м от земли, где и должны располагаться лопасти ветрогенератора. На территории Беларуси выявлено около 1840 площадок [5], пригодных для размещения ветроэнергетических станций и полноценных ветропарков. Как правило, площадки находятся в пределах возвышенностей высотой 200–300 м, где среднегодовая скорость ветра достигает 5–8 м/с. Такие показатели вполне способствуют развитию ветроэнергетики, к тому же современные технологии делаю ветроэнергетику эффективной в регионах с меньшей средней скоростью ветра [7].

В связи с относительно низкой средней скоростью ветра рассматривается вопрос об использовании ветрогенераторов малой мощности, в основном в сельскохозяйственном секторе. Мощность генераторов должна находиться в диапазоне 100–150 кВт. При выборе конкретных проектов по размещению ветроустановок следует также принимать во внимание целый ряд факторов, связанных с энергетическим потенциалом ветра на предполагаемом месте установки: рельеф местности, роза ветров, высоту возвышения ветроустановок, открытость местности, удаленность от потребителей электроэнергии и линий электропередач [2].

На пути развития ветроэнергетики в Беларуси стоят и административные барьеры. Так, квота на ветроэнергику в 2017–2019 гг. составляет 11 МВт, что недостаточно для привлечения крупных инвесторов. Однако в последние годы интерес к данной отрасли энергетики значительно возрос, в первую очередь из-за необходимости обеспечения энергетической безопасности страны и диверсификации топливных ресурсов, и, как следствие, поиска новых, местных источников энергии. Этот вопрос сегодня рассматривается на государственном уровне, что закреплено в «Концепции энергетической безопасности Беларусь» и «Национальной программе развития местных и возобновляемых источников энергии».

С 2014 г. в Беларуси действует Проект международной технической помощи «Устранение барьеров для развития ветроэнергетики в Республике Беларусь». Донорами проекта являются Глобальный экологический фонд (ГЭФ) и Программа развития ООН (ПРООН). Основные задачи проекта включают оказание содействия в устраниении барьеров для развития ветроэнергетики, разработка площадок для строительства ветропарков, создание и применение для этих ветроэнергетических станций такого нормативно-правового механизма, который станет в дальнейшем типовой схемой и откроет возможности для будущей разработки ветроэнергетических станций частными компаниями [7].

В рамках проекта «Устранение барьеров для развития ветроэнергетики в Республике Беларусь» был проведён анализ существующей законодательной базы, касающейся ветроэнергетики. Сравнение белорусских и европейских технических нормативных правовых актов указывает на недостаточно полный набор требований в белорусской технической нормативной базе. Также встречаются несоответствия между белорусскими нормативными документами. Кроме того специалисты проекта говорят о необходимости отойти от компенсации повышенного тарифа за счет только государственных энергоснабжающих организаций. В настоящий момент они обязаны оплачивать электроэнергию из ВИЭ на законодательном уровне, не имея стимулов к ее покупке.

Возможная модернизация энергосистемы в целом, допуск других участников на рынки купли-продажи электроэнергии и рынки эксплуатации сетей, стимулирование покупки электроэнергии из ВИЭ, может повлечь за собой конкуренцию на рынке.

Также одно из средств повышения инвестиционной привлекательности строительства ветропарков это снижение стоимости передачи электроэнергии и упрощение механизма покупки ее удаленными потребителями, плюс снижение сложности и себестоимости подключения к общим сетям энергосистемы, как производителей электроэнергии, так и покупателей. Государственная поддержка покупателей «зелёной» электроэнергии повысит инвестиционную привлекательность ветроэнергетики в Беларуси [7].

Следует отметить, что проект «Устранение барьеров для развития ветроэнергетики в Республике Беларусь» имеет собственную квоту в 25 МВт, что позволяет ускорить развитие ветроэнергетики. Так, если в 2012 г. в эксплуатацию было введено всего 2 ветрогенератора мощностью 0,8 МВт, в 2013 г. – 7 ветрогенераторов (3,55 МВт), то в 2014 г. были установлены 22 ВЭУ мощностью 19,1 МВт, а в 2015 г. – 18 ВЭУ (17,45 МВт) (рис. 4). Крупнейший ветропарк Беларуси формируется возле н. п. Грабники (Новогрудский район), где в 2011 г. был установлен первый ветрогенератор мощностью 1,5 МВт. В 2016 г. здесь было установлено еще 5 ВЭУ, общая мощность ветропарка составила 9 МВт. К настоящему моменту в Республике Беларусь работает более 60 ветроэнергетических установок, общей мощностью более 50 МВт [7]. Большинство установок,рабатывающих энергию с помощью ветра, расположены в Гродненской и Могилевской областях, отдельные установки введены в строй в Минской, Брестской и Витебской областях. Всего на существующих площадках могут быть размещены ветроустановки с теоретически возможным энергетическим потенциалом 1600 МВт и годовой выработкой электроэнергии 2,4 млрд. кВт·ч [5].



Рис. 4. Строительство ветроэнергетических установок в 2000–2015 гг. [7]

Fig. 4. Construction of wind turbines in 2000–2015 [7]

Результаты оценки природного потенциала Беларуси, а также положительный опыт стран-соседей говорят о хороших перспективах развития ветроэнергетики в Беларуси. Однако для реализации этих возможностей необходима государственная поддержка данного направления. Она должна заключаться во внесении изменений в тарифную политику и законодательные акты, направленных на поощрение инвестиций в эту отрасль и создание новых ветропарков. Определяющую роль в развитии ветроэнергетики играют и международные проекты, которые позволяют привлечь иностранные инвестиции и перенять положительный опыт стран, в которых уже достигнуты значительные успехи в этом вопросе. В результате ветроэнергетика может стать хорошей альтернативой традиционным источникам энергии, особенно на местном уровне, и получить широкое распространение как в Беларуси, так и в остальных странах мира.

Список использованных источников

1. Ветроэнергетический сектор в странах СНГ [Электронный ресурс] // Интернет-портал СНГ Ветроэнергетический сектор в странах СНГ. – Режим доступа: <http://www.e-cis.info/news.php?id=13328>. – Дата доступа: 27.06.2017.
2. Викторович, Н. В. Исследование эффективности использования энергии ветра на территории Брестской области республики Беларусь / Н. В. Викторович // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 2. – С. 117–121.
3. Гасникова, А. А. Роль традиционной и альтернативной энергетики в регионах Севера / А. А. Гасникова // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2013. – № 5 (29). – С. 77–88.
4. Михальчева, Э. А. Экологические аспекты строительства и эксплуатации ветроэнергетических станций / Э. А. Михальчева, А. Г. Трифонов // Вестн. Брест. гос. техн. ун-та. – 2013. – № 2. – С. 121–122.
5. Национальная программа развития местных и возобновляемых энергоисточников на 2011–2015 годы [Электронный ресурс] // Совет министров Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.government.by/upload/docs/file663fb27db70962e8.PDF>. – Дата доступа: 07.02.2017.
6. Панельная сессия «Альтернативная энергетика: близок ли конец эпохи углеводородов?» [Электронный ресурс] // Петербургский международный экономический форум 2016. – Режим доступа: <http://tass.ru/rmef-2016/article/335298>. – Дата доступа: 27.06.2017.
7. Проект международной технической помощи «Устранение барьеров для развития ветроэнергетики в Республике Беларусь» [Электронный ресурс] // Ветроэнергетика в Республике Беларусь. – Режим доступа: <http://www.windpower.by/ru/project/>. – Дата доступа: 20.06.2017.
8. Энергетический баланс Республики Беларусь : статистический сборник / под ред. И. В. Медведева. – Минск : Нац. стат. комитет Респ. Беларусь, 2017. – 154 с.
9. Carbon Intensity, 2017 [Electronic resource] // World Environment Organisation (WEO). – Mode of access: <http://worldenvironmentorganisation.weebly.com/information-a-z.html>. – Date of access: 20.06.2017.

10. Global wind report 2015. Annual market update [Electronic resource] // Global Wind Energy Council. – Mode of access: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf. – Date of access: 27.06.2017.

11. Key world energy statistics, 2016 [Electronic resource] // International energy agency. – Mode of access: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>. – Date of access: 20.06.2017.

12. WWEA bulletin special issue, 2015 [Electronic resource] // World Wind Energy Association. – Mode of access: <http://www.wwindea.org/wwea-bulletin-special-issue-2015/>. – Date of access: 20.06.2017.

References

1. *Vetroenergeticheskiy sektor v stranakh SNG* [The wind sector in the CIS countries]. Available at: <http://www.e-cis.info/news.php?id=13328> (Accessed 27 June 2017).
2. Viktorovich N. V. *Issledovaniye effektivnosti ispolzovaniya energii vетра na territorii Brestskoy oblasti respubliki Belarus* [Study of the efficiency of utilization of wind energy on the territory of Brest region of the Republic of Belarus]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proc. "Bulletin of the Brest State Technical University"], 2013, no. 2, pp. 117–121.
3. Gasnikova A. A. *Rol traditsionnoy i alternativnoy energetiki v regionakh Severa* [The role of traditional and alternative energy in the North]. *Ekonomicheskiye i sotsialnyye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz* [Proc. "Economic and social changes: facts, trends, forecast"], 2013, no. 5 (29), pp. 77–88.
4. Mikhalycheva. E.A. Trifonov. A.G. *Ekologicheskiye aspekty stroitelstva i eksploatatsii vetroenergeticheskikh stantsiy* [Environmental aspects of construction and operation of wind power stations]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proc. "Bulletin of the Brest State Technical University"], 2013, no. 2, pp. 121–122.
5. *Natsionalnaya programma razvitiya mestnykh i vozobnovlyayemykh energoistochnikov na 2011–2015 gody* [The national development program of local and renewable energy sources for 2011–2015]. Soviet ministrov Respubliki Belarus. Available at: <http://www.government.by/upload/docs/file663fb27db70962e8.PDF> (Accessed 27 June 2017).
6. *Panelnaya sessiya "Alternativnaya energetika: blizok li konets epokhi uglevodorodov?* [Panel session "Alternative energy: how close is the end of hydrocarbons?"]. Peterburgskiy mezhdunarodnyy ekonomicheskiy forum 2016. Available at: <http://tass.ru/pmef-2016/article/335298> (Accessed 27 June 2017).
7. *Proyekt mezhdunarodnoy tekhnicheskoy pomoshchi «Ustraneniye baryerov dlya razvitiya vetroenergetiki v Respublike Belarus»* [The international technical assistance project "Removing barriers to wind power development in the Republic of Belarus"]. Vetroenergetika v Respublike Belarus. Available at: <http://www.windpower.by/ru/project/> (Accessed 20 June 2017).
8. *Energeticheskiy balans Respubliki Belarus: Statisticheskiy sbornik* [The energy balance of the Republic of Belarus: Statistical Yearbook], pod red. I. V. Medvedeva. Minsk, 2017. 154 p.
9. *Carbon Intensity, 2017. World Environment Organisation (WEO)*. Available at: <http://worldenvironmentorganisation.weebly.com/information-a-z.html> (Accessed 20 June 2017).
10. Global wind report 2015. Annual market update. Global Wind Energy Council. Available at: http://www.gwec.net/wp-content/uploads/vip/GWEC-Global-Wind-2015-Report_April-2016_22_04.pdf (Accessed 27 June 2017).
11. *Key world energy statistics, 2016. International energy agency*. Available at: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>. (Accessed 20 June 2017).
12. *WWEA bulletin special issue, 2015. World Wind Energy Association*. Available at: <http://www.wwindea.org/wwea-bulletin-special-issue-2015/> (Accessed 27 June 2017).

Информация об авторе

Курочкина Александра Игоревна – аспирантка, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова (ул. Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Российская Федерация). E-mail: geo.kurachkinas@mail.ru

Information about the author

Aleksandra I. Kurachkina – Postgraduate Student, Lomonosov Moscow State University (1, Leninskie Gory Str., 119991, Moscow, Russian Federation). E-mail: geo.kurachkinas@mail.ru

УДК 551.586

Поступила в редакцию 14.02.2018

Received 14.02.2018

ХАРАКТЕРИСТИКА ИЗМЕНЕНИЙ БИОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА БЕЛАРУСИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ЛИТВЫ И УКРАИНЫ ЗА ПЕРИОД 1977–2015 гг.

М. А. Хитриков

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Проведен сравнительный анализ изменений биоклиматического потенциала (БКП) территории Беларуси и смежных территорий Литвы и Украины. Расчет значений БКП проводился по данным наблюдений на 32 метеорологических станциях за период 1977–2015 гг. Для расчетов была использована методика Д. И. Шашко, дополненная уточняющей схемой для получения оптимальных значений БКП для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур. Установлено, что за указанный период произошли существенные изменения значений БКП по рассматриваемой территории. Значения БКП выросли на 10–25 баллов. Наибольший прирост значений БКП наблюдался в Беларуси и Литве, наименьший – в Украине. Анализ выявил, что ключевым фактором, определяющим значения БКП, являются местные особенности распределения температуры и количества осадков. В течение периода современного потепления климата роль данного фактора существенно возросла. Анализ корреляционных связей величины урожайности сельскохозяйственных культур и значений БКП показал, что на рассматриваемой территории биоклиматические условия не являются ведущим фактором формирования урожая. Наиболее значимым фактором является уровень культуры земледелия.

Ключевые слова: биоклиматический потенциал; изменения климата; урожайность; корреляционная связь.

Для цитирования. Хитриков М. А. Характеристика изменений биоклиматического потенциала Беларуси и сопредельных территорий Литвы и Украины за период 1977–2015 гг. // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 135–149.

THE CHARACTERISTICS OF BIOCLIMATIC POTENTIAL CHANGES IN BELARUS AND NEIGHBORING REGIONS OF LITHUANIA AND UKRAINE IN 1977–2015

M. A. Khitrykau

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

Abstract. Comparative analysis of changes of bioclimatic potential (BCP) was made for the territory of Belarus and the neighboring regions of Lithuania and Ukraine. BCP was calculated on the basis of observation data from 32 weather stations for the period from 1977 to 2015. Calculations were performed according to D. I. Shashko method. The method was complemented by specifying scheme for calculation of the optimal BCP values for crops. The analysis showed significant changes of the BCP values in 1977–2015 over the territory considered. Total increment of BCP values is 10–25 points. The highest increment of BCP values was observed in Belarus and Lithuania, the lowest increment was observed in Ukraine. The analysis showed that the most important factor defying the BCP values is local characteristics of temperature and precipitation. During the period of recent warming, the importance of this factor became higher. The analysis of correlations between the crop yields and the BCP values showed that bioclimatic conditions are not the leading factor that defies crop productivity. The most important factor is the level of the culture of farming.

Key words: bioclimatic potential; climate changes; crop yield; correlation.

For citation. Khitrykau M. A. The characteristics of bioclimatic potential changes in Belarus and neighboring regions of Lithuania and Ukraine in 1977–2015. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 135–149.

Введение. Одним из наиболее удобных комплексных показателей оценки условий выращивания сельскохозяйственных культур является биоклиматический потенциал (БКП). Под этим термином понимается комплекс климатических факторов, определяющий биологическую продуктивность земли на данной территории [1]. Обычно он выражается в форме индекса.

Первые оценки условий выращивания сельскохозяйственных культур на основе комплексных характеристик были проведены в 1950-х годах и связаны с работами П. И. Колоскова [2]. Они основывались на показателях тепло- и влагообеспеченности. Позже, в 1970-х годах, Д. И. Шашко были про-

изведены комплексные оценки выращивания сельскохозяйственных культур и разработан показатель БКП, который известен сегодня [1]. Подход Д. И. Шашко к комплексной оценке тепло- и влагообеспеченности не является единственным. В 1980-х годах О. Д. Сиротенко был предложен другой подход, основывающийся на использовании численной климатико-агрофизической модели, в которой биоклиматический потенциал выражался в форме величины продуктивности сельскохозяйственных культур [3].

На основе показателя биоклиматического потенциала может быть проведена оценка условий выращивания широкого набора сельскохозяйственных культур. Это делает показатель БКП универсальным. Расчет индекса БКП основывается на использовании небольшого числа параметров. Однако их малое число является и недостатком: ресурсы тепла и влаги являются основными для развития растений, но не единственными. Так, в показателе БКП не учтено влияние солнечной радиации, в связи с этим требуется использование дополнительных уточняющих коэффициентов.

Тем не менее расчетная схема Д. И. Шашко является достаточной для проведения сравнительной характеристики БКП за различные периоды времени. Например, она удобна для того, чтобы проследить, как изменялся БКП в зависимости от изменений климата. Наиболее значительные изменения климата произошли в последние десятилетия (с 1989 г.). Однако необходимо отметить, что изменения климата за различные периоды времени в различных регионах неоднородны. Так, если рассматривать весь период современного потепления климата для территории Беларуси, то в нем можно выделить два подпериода, 1989–2000 гг. и 2001–2015 гг., которые отличались тенденциями роста температуры: в течение первого подпериода наиболее заметный рост был характерен для зимних температур, в течение второго подпериода наиболее интенсивно росли летние температуры [4, 5]. Характер пространственных особенностей изменения метеорологических параметров также различался для этих подпериодов. Наиболее заметные изменения прослеживаются в величине атмосферных осадков: в течение подпериода 1989–2000 гг. на востоке Беларуси фиксировалось увеличение количества осадков, однако в последующий подпериод (2001–2015 гг.) в юго-восточной Беларуси количество осадков уменьшилось, тогда как в северо-восточной оно продолжило расти [6, 7].

В связи с этим представляет интерес сравнение характера изменений БКП для различных регионов Беларуси и смежных территорий соседних стран. Чтобы определить степень влияния БКП на итоговую продуктивность сельскохозяйственных культур необходимо взять для рассмотрения территории, отличающиеся по степени благоприятности климата, плодородия почв и уровню развития агротехники. Таким образом, если брать территорию Беларуси в качестве базиса для сравнения, то для рассмотрения лучше использовать смежные территории Литвы и Украины. Плодородие почв и теплообеспеченность увеличиваются при продвижении с севера на юг и с северо-запада на юго-восток [8]. Оценки урожайности по странам [9] свидетельствуют, что в Беларуси уровень развития агротехники ниже, чем в Литве, но выше, чем в Украине.

Рассмотрим биоклиматический потенциал и продуктивность сельскохозяйственных культур на территории Беларуси и прилегающих территориях Литвы и Украины более подробно.

Методика выполнения работ. Для проведения анализа был отобран ряд станций на территории рассматриваемых стран: 21 – на территории Беларуси (Брест, Барановичи, Полесская, Минск, Житковичи, Василевичи, Гомель, Кличев, Костюковичи, Горки, Витебск, Сенно, Березинский заповедник, Верхнедвинск, Шарковщина, Ошмяны, Гродно, Волковыск, Новогрудок, Слуцк, Марьина Горка), 7 – на территории Украины (Дрогобыч, Каменец-Подольский, Ковель, Коростень, Лубны, Нежин, Умань) и 4 – на территории Литвы (Шилуте, Расейней, Утена, Варена). Отбор станций производился на основании следующих критериев:

расположение преимущественно в небольших населенных пунктах с целью минимизации эффекта урбанизации на значения климатических показателей, используемых для расчета БКП;
обеспечение равномерности покрытия территории метеорологическими наблюдениями;
обеспечение достаточности различий физико-географических и климатических условий.

Анализ проводился за период 1977–2015 гг. для всех рассматриваемых станций. Исключения составила станция Расейней, для которой отсутствовала часть данных до 1990 г.

Расчет значения биоклиматического потенциала был проведен по методике Д. И. Шашко, основывающейся на учете тепловых и влажностных ресурсов, необходимых для развития растений. Для вычисления индекса БКП используется формула [1]:

$$\text{БКП} = K_p (\sum T_c > 10^\circ\text{C} / \sum T_{\text{баз}}),$$

где $\sum T_c > 10^\circ\text{C}$ – сумма активных температур выше 10°C ; $\sum T_{\text{баз}}$ – базисная сумма температур.

K_p рассчитывается по формуле

$$K_p = 1,5 \lg(20M_d) - 0,24 + 0,36M_d - M_d^2.$$

Здесь M_d – показатель увлажнения, равный

$$M_d = \Sigma P / (\Sigma (E - e)),$$

где ΣP – годовая сумма осадков, $\Sigma(E - e)$ – годовая сумма значений дефицитов влажности воздуха. Полученное значение индекса потом приводилось в форму баллов путем умножения на 55 для удобства сравнения [1].

Изначально показатель БКП разрабатывался для оценки агроклиматических условий на всей территории СССР в период, предшествовавший современным изменениям климата (третья четверть XX в.), поэтому значение в 100 баллов будет являться средним для таких регионов, как Северное Поволжье. Для Беларуси средние значения БКП будут лежать в пределах 120–140 баллов.

Рассматривались следующие периоды времени: I – весь доступный период (1977–2015 гг.); II – период современного потепления климата (1989–2015 гг.); III – период, предшествовавший современному потеплению (1977–1988 гг.); IV – период, когда происходил самый интенсивный рост летней и зимней температуры (1989–2000 гг.); V – период изменения динамики величины сезонного роста нормированной температуры: рост летней температуры стал существенно больше зимней (2001–2015 гг.). Подобное деление можно провести на основании работ [4, 5]. Средние значения БКП рассчитывались на основании значений индекса для каждого отдельного года.

Дополнительно была проведена адаптация индекса БКП с целью получить оптимальные значения потенциала для выращивания сельскохозяйственных культур, наиболее распространенных в рассматриваемых странах (озимая и яровая пшеница, озимая рожь, яровой ячмень, овес, кукуруза, гречиха, лен-долгунец, картофель и сахарная свекла). Для этих целей базисная сумма температур $\Sigma T_{баз}$ в исходной расчетной формуле была заменена на минимальные биологические суммы температур выше 10 °C, необходимые для развития данных сельскохозяйственных культур, и был введен уточняющий коэффициент на величину доступной для растений влаги вида

$$K = (0,75 \Sigma P_T) / \Sigma P_O,$$

где ΣP_T – общее годовое количество осадков; ΣP_O – минимальное оптимальное количество осадков, необходимое для развития сельскохозяйственных культур. Сведения о величине биологических сумм температур были взяты из работы З. А. Мищенко [10], а о величине оптимального количества осадков – из работы М. К. Каюмова [11]. Значения биологических сумм температур и оптимального для развития количества осадков, использованные при расчетах, приведены в табл. 1.

Дополнительно был проведен анализ корреляций значений БКП и значений урожайности ранее названных сельскохозяйственных культур. Для этих целей метеорологические станции были сгруппированы по шести регионам, для каждого из которых были рассчитаны значения БКП: Южная Беларусь (станции Брест, Минск, Полесская, Житковичи, Василевичи, Гомель), Центральная Беларусь (станции Гродно, Волковыск, Новогрудок, Барановичи, Слуцк, Марьина Горка, Кличев, Костюковичи), Северная Беларусь (станции Ошмяны, Верхнедвинск, Шарковщина, Березинский заповедник, Сенно, Витебск, Горки), Северная Украина (станции Ковель, Коростень, Нежин), Западная и Центральная Украина (станции Дрогобыч, Каменец-Подольский, Умань, Лубны), Литва рассматривалась как отдельный регион. Данные по урожайности были взяты из базы статистических данных ФАО [9]. Они охватывают период с 1990 г., поэтому расчет корреляций проводился только для трех из рассмотренных временных периодов: периода современного потепления климата (1990–2015 гг.); периода, когда происходил самый интенсивный рост летней и зимней температуры (1990–2000 гг.); периода, когда произошло изменение динамики величины сезонного роста нормированной температуры (2001–2015 гг.).

Для построения карт использовалось программное обеспечение ArcGIS [12]. Интерполяция значений производилась с помощью метода сплайн.

Таблица 1. Биологические суммы температур и оптимальные значения количества осадков, необходимые для развития сельскохозяйственных культур

Table 1. Biological sums of temperature and optimal values of precipitation required for growth and development of crops

Культура	Биологическая сумма температур, °C	Оптимальное количество осадков, мм
Яровая пшеница	1700	450
Озимая пшеница	1500	425
Озимая рожь	1400	400
Яровой ячмень	1450	365
Овес	1550	350
Кукуруза	2500	560
Гречиха	1400	270
Лен-долгунец	1100	450
Картофель	1800	460
Сахарная свекла	2200	575

Анализ полученных результатов. Результаты расчета биоклиматического потенциала для взятых регионов за период 1989–2015 гг. представлены на рис. 1–11, а в табл. 2 и 6 приведены средние значения БКП по отдельным регионам рассматриваемых стран за весь изучаемый период (1977–2015 гг.).

Средние значения БКП за период современного потепления климата (1989–2015 гг.) приведены на рис. 1. и табл. 2.

Как видно из рис. 1 и табл. 2, для рассматриваемой территории наблюдается повышение значений БКП при продвижении с севера и северо-запада на юг, однако при этом отмечаются отдельные локальные аномалии в распределении значений БКП, связанные с более высоким количеством осадков на возвышенностях или в окрестностях крупных озер (восток Витебской области и северо-запад Гомельской области) [6] и преобладанием более низких температур на территориях, где распространены холодные торфяные почвы (станция Полесская, восток Брестской области). Наибольшие значения биоклиматического потенциала были характерны для юго-западной Беларуси и западной Украины, где средние температуры и количество осадков выше, чем на большей части рассматриваемой территории, минимальные – для Литвы, Северной Беларуси и Центральной Украины. Низкие значения индекса БКП в данных регионах обусловлены преобладанием низких температур в северо-западных регионах (Белорусское Поозерье и Литва) и засушливостью, присущей степной зоне (Центральная Украина).

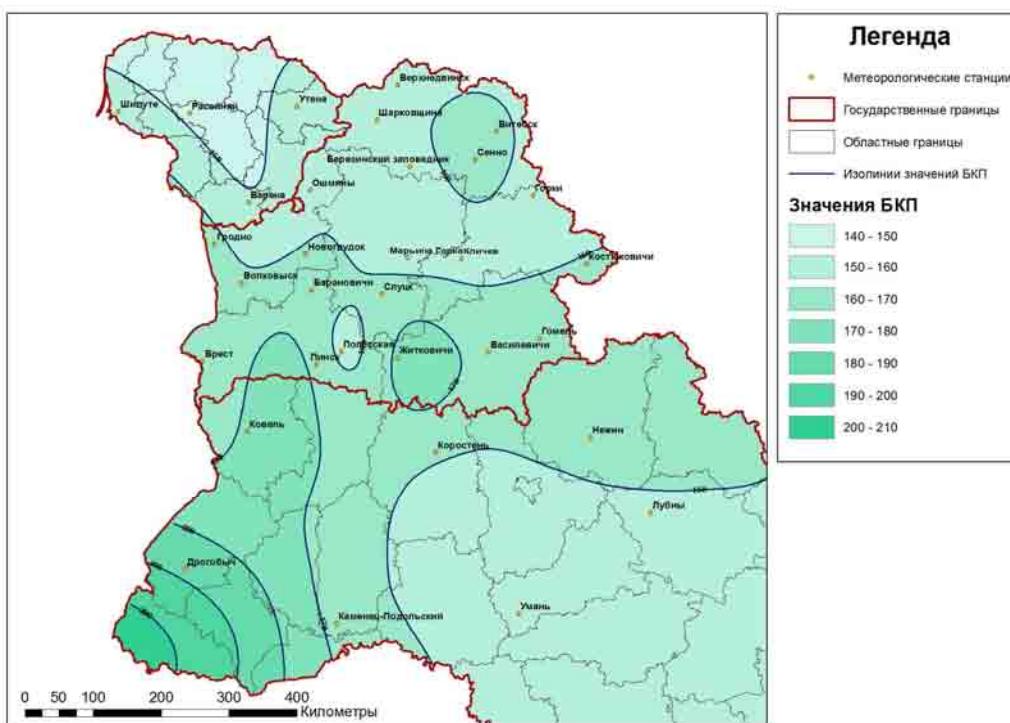


Рис. 1. Средние значения БКП за период современного потепления климата, 1989–2015 гг.

Fig. 1. Average BCP values for the period of current warming, 1989–2015

Таблица 2. Средние значения БКП по отдельным регионам стран за различные периоды времени

Table 2. Average BCP values for different countries and regions for the different periods of time

Период времени, гг.	Литва	Северная Беларусь	Центральная Беларусь	Южная Беларусь	Северная Украина	Центральная и Западная Украина
1977–2015	142,8	153,7	157,2	162,5	161,8	164,4
1989–2015	148,7	158,2	161,1	165,9	165,8	167,2
1977–1988	129,4	141,6	146,8	153,6	153,1	158,3
1989–2000	143,3	151,2	154,0	160,1	167,6	170,1
2001–2015	153,1	163,8	166,7	170,6	164,3	164,8

Особый интерес представляет рассмотрение изменений БКП за отдельные подпериоды всего рассматриваемого периода. Распределение значений БКП за период, предшествующий современному потеплению климата (1977–1988 гг.), отличается четко выраженным повышением значений БКП с севера на юг и малым числом слабых локальных максимумов и минимумов. Минимумы значений БКП обусловлены преобладанием невысоких температур, а максимумы значений БКП – более высоким количеством осадков. В течение данного подпериода прослеживается большинство ранее указанных аномалий распределения значений БКП, однако необходимо отметить, что минимум значений БКП в Центральной Украине в течение данного подпериода не наблюдался. Если рассматривать первую половину периода современного потепления климата (1989–2000 гг.), когда потепление происходило преимущественно за счет зимних температур [5], то характер распределения значений БКП заметно отличается от характера распределения значений БКП предшествующего периода. Количество и мощность локальных экстремумов значений БКП значительно возросло, что нарушило четко выраженное повышение значений БКП при продвижении с севера на юг. Из-за более интенсивного роста температуры и, прежде всего, количества осадков в Белорусском Полозерье для северной половины Беларуси характерны более высокие значения БКП, чем для более южных регионов. Минимумы значений в Центральной Литве и в Центральной Украине обусловлены влиянием возвышенностей на значения температуры и количества осадков в данных регионах. Для Жямайтской возвышенности характерны наиболее низкие значения средних температур во всем рассматриваемом регионе и, как следствие, низкие значения БКП. Центральная Украина отличается высокой континентальностью климата, что в совокупности с особенностями рельефа (данный регион расположен на восточной подветренной стороне крупной возвышенности) приводит к уменьшению количества осадков. Вследствие влияния современного потепления климата разность в величине количества осадков между Центральной и Западной Украиной усилилась. И это при том, что рост температур в обоих регионах был относительно равномерен. Следствием этого стало усиление засушливости, которое и привело к понижению значений БКП. Это можно проследить по данным табл. 3, в которой приведены средние значения сумм активных температур выше 10 °C и годового количества осадков по метеорологическим станциям, расположенным в Центральной Украине и прилегающих территориях.

Другая половина периода современного потепления климата (2001–2015 гг.), когда потепление происходило преимущественно за счет летних температур [5], характеризуется распределением значений БКП, схожим с распределением, свойственным подпериоду 1989–2000 гг.: в распределении значений БКП по рассматриваемой территории преобладают локальные максимумы и минимумы значений БКП, а повышение значений БКП при продвижении с севера на юг выражено слабо. Для данного подпериода характерны те же локальные максимумы и минимумы значений БКП, что и для предыдущего подпериода, однако размеры и мощность некоторых аномалий распределения значений БКП претерпели изменения. Так, ослабли минимум значений БКП, расположенный в Центральной Литве, и максимум значений БКП, расположенный на востоке Гомельской области. Это можно проследить по изменениям средних значений сумм активных температур выше 10 °C и годового количества осадков по метеорологическим станциям данных регионов, приведенным в табл. 4 и 5.

В Центральной Украине произошло существенное снижение количества осадков, поэтому минимум значений БКП, расположенный там, усилился (см. табл. 2 и 3).

Необходимо отметить, что снижение количества осадков в 2001–2015 гг. произошло не только в Центральной Украине, а по всем рассматриваемым регионам страны и, частично, по Южной Беларуси (на станциях Умань и Лубны падение составило порядка 50 мм, на станциях Коростень, Нежин, Лельчицы, Пружаны – от 5 до 15 мм). Это привело к нарушению тенденции повышения значений БКП при продвижении с севера на юг в течение последнего подпериода: в 2001–2015 гг. наиболее высокие значения БКП были характерны для Белорусского Полесья. Усиление засушливости климата в Украине привело к тому, что повышение значения БКП в 2001–2015 гг. относительно подпериода 1977–1988 гг. по данной территории составило лишь 6–12 баллов, в то время как повышение значений БКП для территорий Беларуси и Литвы за аналогичный период времени составило 20–25 баллов.

Таблица 3. Средние значения сумм активных температур выше 10 °C и годового количества осадков по метеорологическим станциям западной и центральной Украины

Table 3. Average values of sums of active temperatures above 10 °C and annual precipitation for the weather stations of Western and Central Ukraine

Период, гг.	Дрогобыч	Каменец-Подольский	Умань	Лубны
Суммы активных температур выше 10 °C				
1977–1988	2433,7	2600,8	2586,1	2746,9
1989–2000	2708,7	2766,3	2772,2	2838,4
2001–2015	2849,6	3002,0	3033,4	3126,7
Годовое количество осадков, мм				
1977–1988	717,6	625,3	676,9	662,2
1989–2000	741,4	624,9	628,3	647,4
2001–2015	774,6	625,2	571,5	595,8

Таблица 4. Средние значения сумм активных температур выше 10 °C и годового количества осадков по метеорологическим станциям Южной Беларусь

Table 4. Average values of sums of active temperatures above 10 °C and annual precipitation for the weather stations of Southern Belarus

Период, гг.	Житковичи	Василевичи	Пинск	Полесская	Слуцк
<i>Суммы активных температур выше 10 °C</i>					
1977–1988	2057,7	1993,0	2031,2	2020,6	2057,7
1989–2000	2225,6	2115,5	2181,4	2110,2	2225,6
2001–2015	2342,9	2256,8	2336,2	2324,8	2342,9
<i>Годовое количество осадков, мм</i>					
1977–1988	691,1	616,9	596,1	627,4	608,5
1989–2000	756,1	666,8	584,9	563,6	589,9
2001–2015	714,0	665,2	634,2	584,9	632,5

Таблица 5. Средние значения сумм активных температур выше 10 °C и годового количества осадков по метеорологическим станциям Литвы

Table 5. Average values of sums of active temperatures above 10 °C and annual precipitation for the weather stations of Lithuania

Период, гг.	Шилуте	Расейняй	Утена	Варена
<i>Суммы активных температур выше 10 °C</i>				
1977–1988	2057,7	1993,0	2031,2	2020,6
1989–2000	2225,6	2115,5	2181,4	2110,2
2001–2015	2342,9	2256,8	2336,2	2324,8
<i>Годовое количество осадков, мм</i>				
1977–1988	854,3	718,1	659,7	684,6
1989–2000	767,0	686,5	689,9	674,8
2001–2015	773,7	670,0	704,6	724,5

Рассмотрим экстремумы значений БКП по отдельным станциям и странам. В целом распределение экстремумов значений БКП по рассматриваемой территории не подчиняется широтной зональности и обусловлено местными особенностями распределения температуры и количества осадков. В Литве максимум значений (станция Шилуте) обусловлен большим количеством осадков, выпадающим в данном регионе, а минимум (станция Расейняй) – низкими значениями температуры, свойственными возвышенности. В Беларусь максимум значений БКП (станции Горки и Верхнедвинск) и минимум значений БКП (станции Гомель и Василевичи) обусловлены характером распределения температуры по территории. В Украине минимум значений БКП (станции Умань и Лубны) обусловлен низким количеством осадков, свойственным лесостепным и степным регионам, а максимум значений (станция Дрогобыч) расположен в регионе, отличающемся высокими средними значениями и температурой, и количества осадков. Наиболее низкие значения БКП для всего рассматриваемого региона были характерны для станций Расейняй, Лубны и Умань, наиболее высокие – для станции Дрогобыч.

Следующим этапом исследования был расчет оптимальных значений биоклиматического потенциала для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур. Они представлены на рис. 2–11 и в табл. 6.

Рис. 2–11 и табл. 6 показывают, что распределение оптимальных значений биоклиматического потенциала для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур характеризуется преобладанием локальных максимумов и минимумов значений БКП, влияние которых нарушает широтную зональность, т. е. повышение значений БКП при продвижении с севера на юг. Эта особенность становится особенно выраженной в течение периода современного потепления климата, когда пятнистость распределения количества осадков и температуры по рассматриваемой территории усилилась [6]. Всего на рассматриваемой территории можно выделить три крупных минимума и четыре крупных максимума значений БКП. Максимумы значений БКП характерны для возвышенностей, где выпадает большее количество осадков. Исключение составляют окрестности станции Житковичи, где максимум осадков обусловлен близостью крупных водных и болотных массивов. Минимумы значений БКП обусловлены либо преобладанием пониженных значений средней температуры, характерных для крупных болотных массивов, где преобладают холодные торфяные почвы (станция Полесская), либо невысоким количеством выпадающих осадков (Центральная Украина), либо сочетанием данных факторов (Могилевская область).

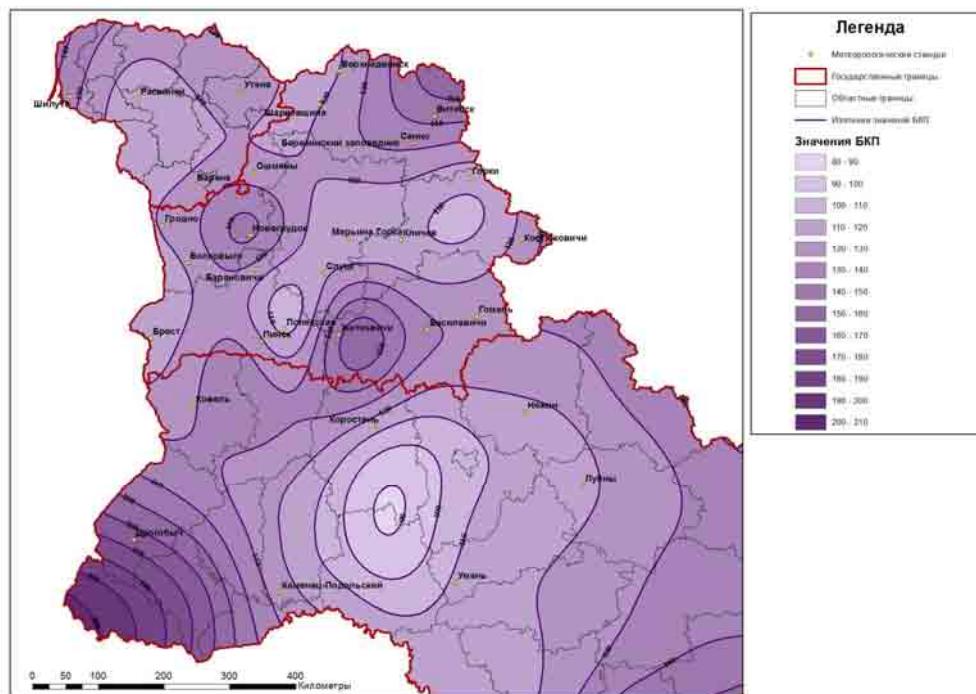


Рис. 2. Средние оптимальные значения БКП для выращивания озимой пшеницы за период современного потепления климата, 1989–2015 гг.

Fig. 2. Average optimal BCP values for winter wheat growing for the period of current warming, 1989–2015

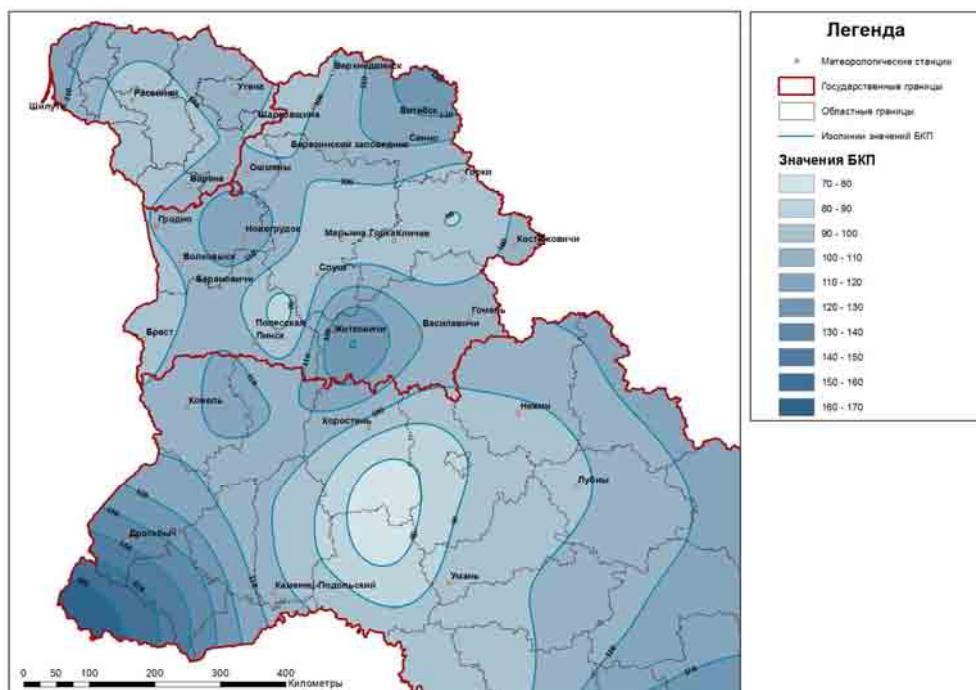


Рис. 3. Средние оптимальные значения БКП для выращивания яровой пшеницы за период современного потепления климата, 1989–2015 гг.

Fig. 3. Average optimal BCP values for spring wheat growing for the period of current warming, 1989–2015

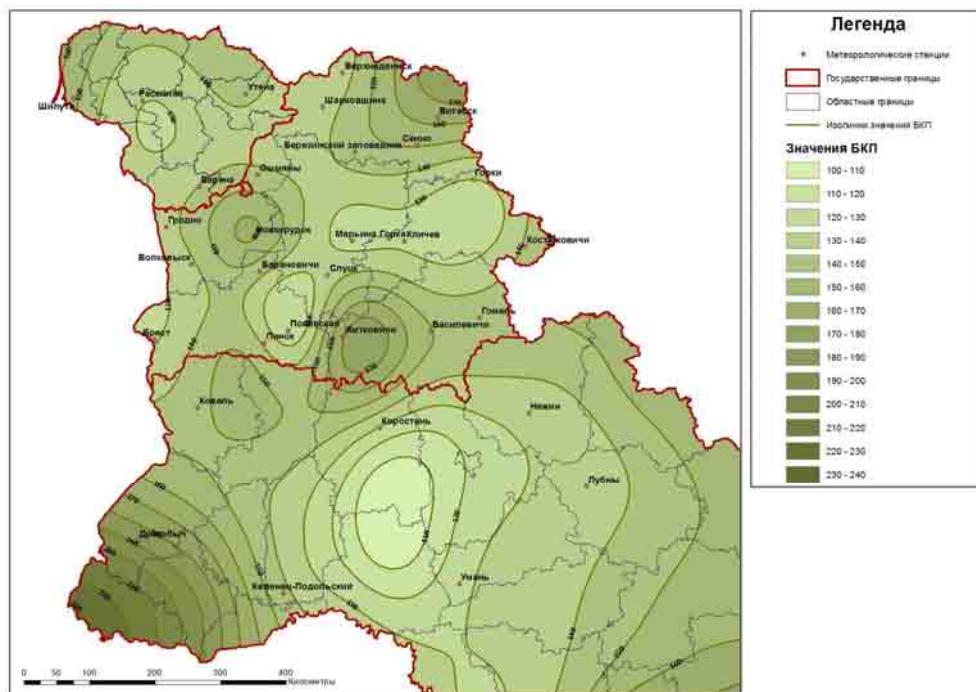


Рис. 4. Средние оптимальные значения БКП для выращивания озимой ржи, за период современного потепления климата, 1989–2015 гг.

Fig. 4. Average optimal BCP values for winter rye growing for the period of current warming, 1989–2015

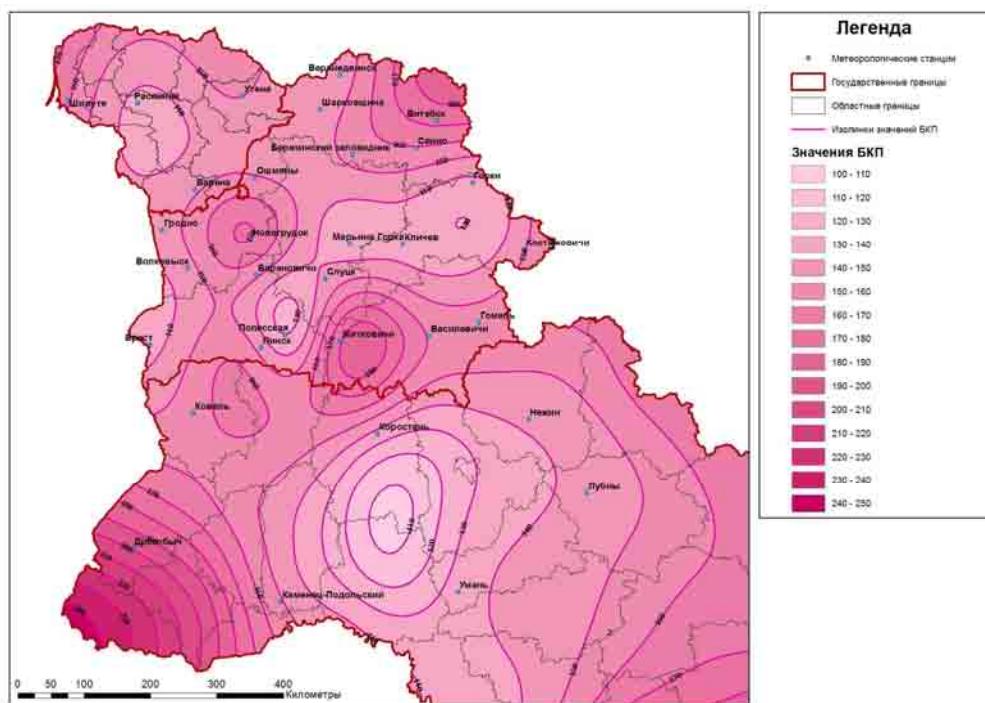


Рис. 5. Средние оптимальные значения БКП для выращивания ячменя за период современного потепления климата, 1989–2015 гг.

Fig. 5. Average optimal BCP values for barley growing for the period of current warming, 1989–2015

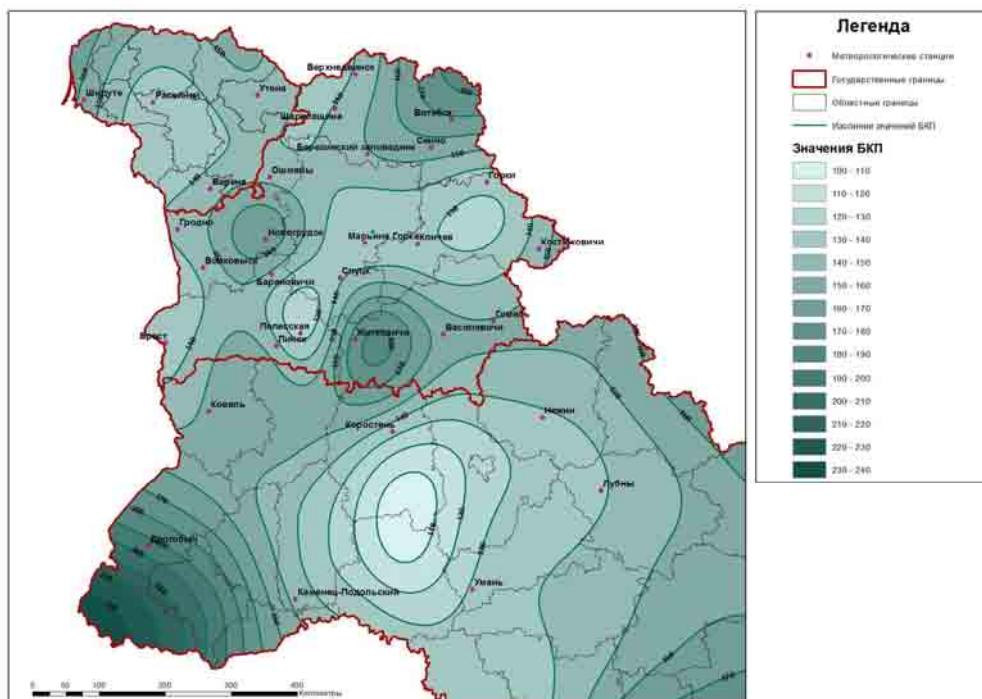


Рис. 6. Средние оптимальные значения БКП для выращивания овса за период современного потепления климата, 1989–2015 гг.

Fig. 6. Average optimal BCP values for oat growing for the period of current warming, 1989–2015

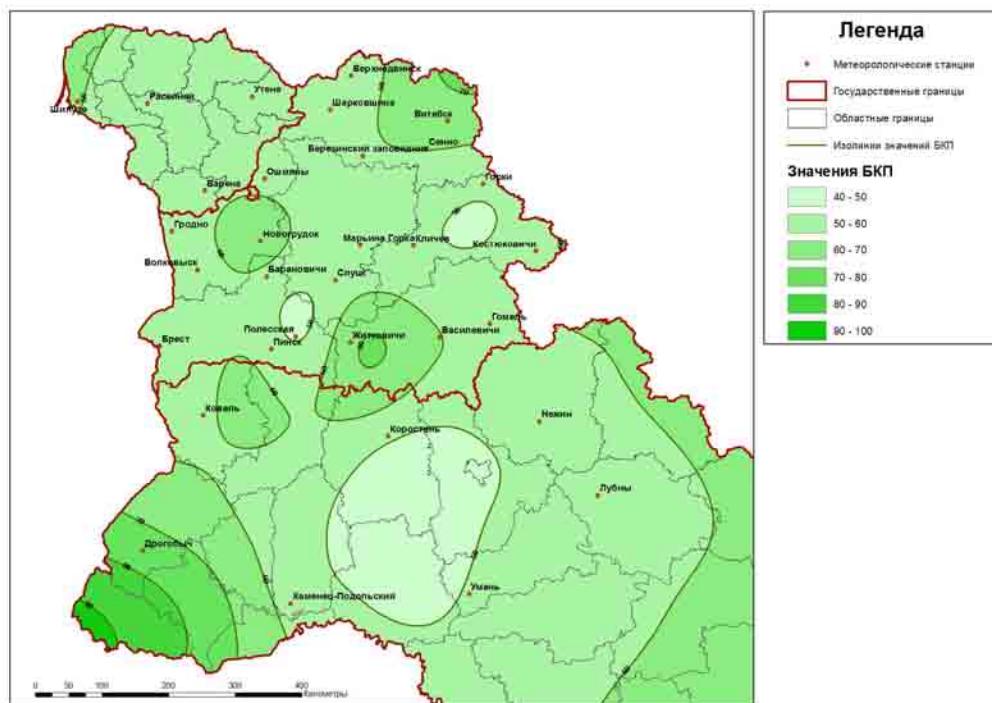


Рис. 7. Средние оптимальные значения БКП для выращивания кукурузы, за период современного потепления климата, 1989–2015 гг.

Fig. 7. Average optimal BCP values for maize growing for the period of current warming, 1989–2015

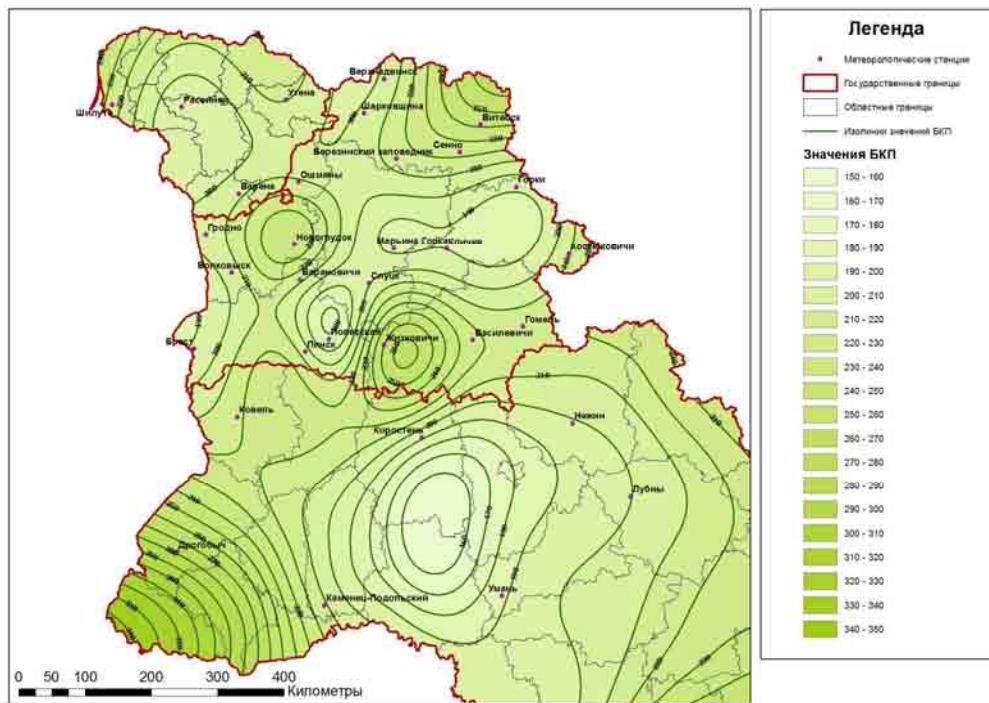


Рис. 8. Средние оптимальные значения БКП для выращивания гречихи, за период современного потепления климата, 1989–2015 гг.

Fig. 8. Average optimal BCP values for buckwheat growing for the period of current warming, 1989–2015

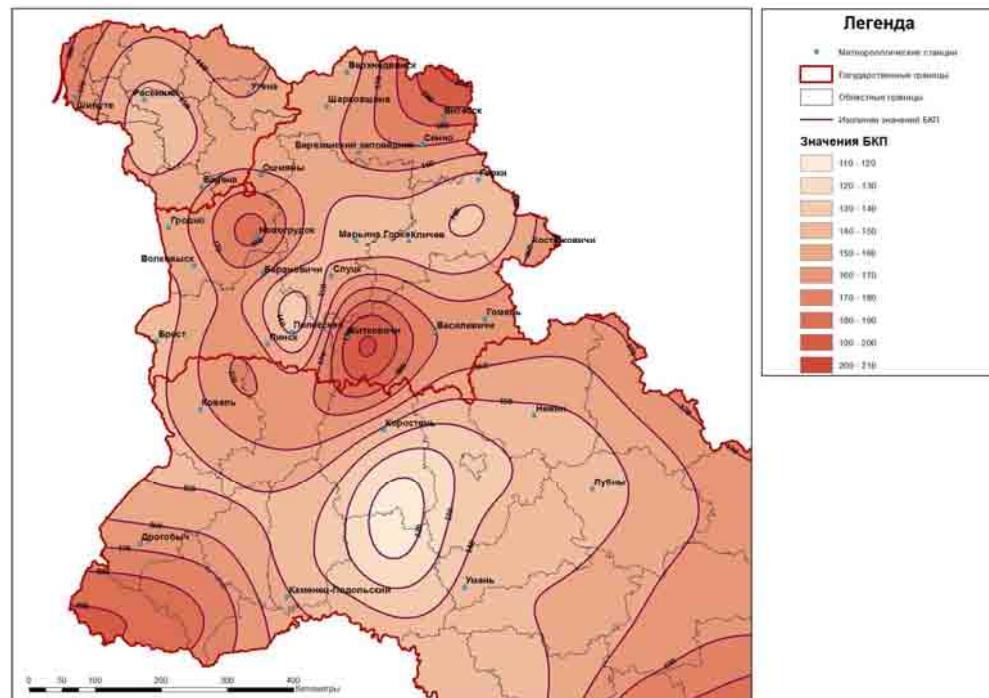


Рис. 9. Средние оптимальные значения БКП для выращивания льна-долгунца, за период современного потепления климата, 1989–2015 гг.

Fig. 9. Average optimal BCP values for flax growing for the period of current warming, 1989–2015

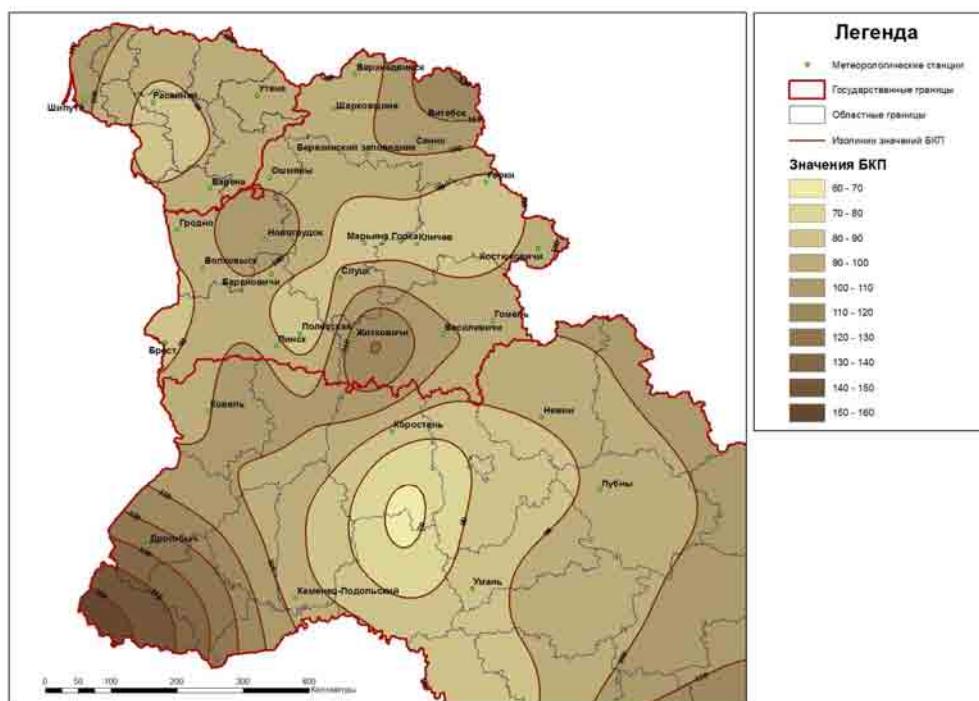


Рис. 10. Средние оптимальные значения БКП для выращивания картофеля, за период современного потепления климата, 1989–2015 гг.

Fig. 10. Average optimal BCP values for potato growing for the period of current warming, 1989–2015

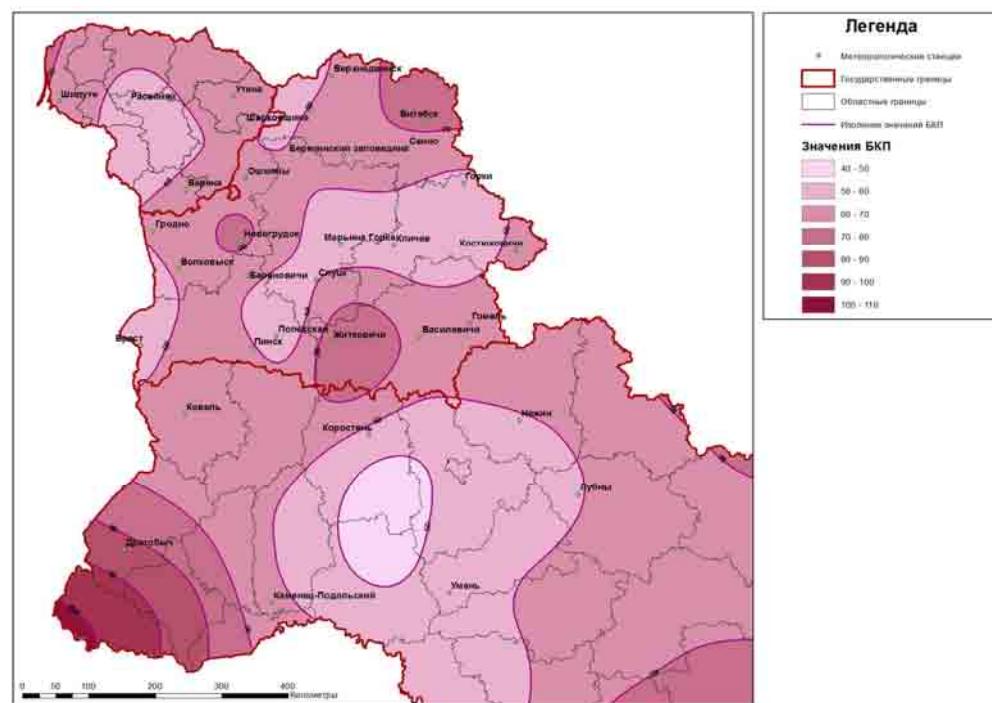


Рис. 11. Средние оптимальные значения БКП для выращивания сахарной свеклы, за период современного потепления климата, 1989–2015 гг.

Fig. 11. Average optimal BCP values for sugar beet growing for the period of current warming, 1989–2015

Таблица 6. Средние оптимальные значения БКП для выращивания сельскохозяйственных культур по различным регионам рассматриваемых стран за различные периоды времени**Table 6. Average optimal BCP values for crop growing for different regions of the countries studied for the different periods of time**

Период времени, гг.	Литва	Северная Беларусь	Центральная Беларусь	Южная Беларусь	Северная Украина	Центральная и Западная Украина
<i>Озимая пшеница</i>						
1977–2015	119,9	122,2	116,8	121,8	118,4	128,4
1989–2015	124,6	127,6	121,1	125,3	120,3	130,3
1977–1988	109,1	107,6	105,1	112,3	114,1	123,9
1989–2000	118,8	121,5	112,5	119,7	121,6	133,3
2001–2015	129,3	132,5	128,0	129,9	119,2	127,9
<i>Яровая пшеница</i>						
1977–2015	99,9	101,8	97,3	101,5	98,6	107,0
1989–2015	103,9	106,3	100,9	104,4	100,2	108,6
1977–1988	90,9	89,7	87,6	93,6	95,0	103,3
1989–2000	99,0	101,2	93,7	99,7	101,3	111,1
2001–2015	107,7	110,4	106,6	108,2	99,4	106,6
<i>Озимая рожь</i>						
1977–2015	136,4	139,1	132,9	138,7	134,7	146,1
1989–2015	141,9	145,3	137,9	142,7	136,9	148,3
1977–1988	124,2	122,5	119,7	127,8	129,8	141,1
1989–2000	135,3	138,3	128,1	136,2	138,3	151,8
2001–2015	147,2	150,8	145,7	147,9	135,7	145,6
<i>Ячмень</i>						
1977–2015	144,4	147,2	140,7	146,7	142,6	154,6
1989–2015	150,1	153,7	145,9	151,0	144,9	157,0
1977–1988	131,4	129,6	126,6	135,2	137,4	149,3
1989–2000	143,2	146,3	135,5	144,1	146,4	160,6
2001–2015	155,7	159,6	154,1	156,5	143,6	154,0
<i>Овес</i>						
1977–2015	140,8	143,6	137,2	143,1	139,1	150,8
1989–2015	146,5	149,9	142,3	147,3	141,3	153,1
1977–1988	128,2	126,4	123,5	131,9	134,0	145,6
1989–2000	139,7	142,7	132,2	140,6	142,8	156,7
2001–2015	151,9	155,7	150,4	152,6	140,1	150,3
<i>Кукуруза</i>						
1977–2015	54,6	55,6	53,2	55,5	53,9	58,4
1989–2015	56,8	58,1	55,1	57,1	54,8	59,3
1977–1988	49,7	49,0	47,9	51,1	51,9	56,4
1989–2000	54,1	55,3	51,2	54,5	55,3	60,7
2001–2015	58,9	60,3	58,3	59,1	54,3	58,2
<i>Гречиха</i>						
1977–2015	202,1	206,1	196,9	205,4	199,6	216,5
1989–2015	210,2	215,2	204,2	211,4	202,8	219,8
1977–1988	184,0	181,5	177,3	189,3	192,4	209,0
1989–2000	200,4	204,9	189,7	201,8	205,0	224,9
2001–2015	218,0	223,5	215,8	219,1	201,1	215,7
<i>Лен-долгунец</i>						
1977–2015	154,4	157,4	150,4	156,9	147,1	149,5
1989–2015	160,5	164,3	156,0	161,4	150,7	152,0
1977–1988	140,5	138,6	135,4	144,6	139,1	143,9
1989–2000	153,1	156,4	144,9	154,1	152,3	154,7
2001–2015	166,5	170,6	164,8	167,3	149,4	149,8
<i>Картофель</i>						
1977–2015	92,3	94,1	89,9	93,8	91,1	98,8
1989–2015	96,0	98,2	93,2	96,5	92,6	100,3
1977–1988	84,0	82,8	80,9	86,4	87,8	95,4
1989–2000	91,5	93,5	86,6	92,1	93,6	102,7
2001–2015	99,5	102,0	98,5	100,0	91,8	98,5
<i>Сахарная свекла</i>						
1977–2015	60,4	61,6	58,9	61,4	59,6	64,7
1989–2015	62,8	64,3	61,0	63,2	60,6	65,7
1977–1988	55,0	54,2	53,0	56,6	57,5	62,5
1989–2000	59,9	61,2	56,7	60,3	61,3	67,2
2001–2015	65,1	66,8	64,5	65,5	60,1	64,4

В целом можно сказать, что распределение значений оптимального БКП для сельскохозяйственных культур наиболее тесно связано с распределением количества осадков. Они связаны теснее, чем значения БКП, рассчитанные непосредственно по методике Д. И. Шашко.

Рассмотрим особенности изменения распределения оптимальных значений БКП для выращивания сельскохозяйственных культур по отдельным подпериодам. Так, в течение периода, предшествовавшего современному потеплению климата (1977–1988 гг.), экстремумы значений БКП отличались относительно небольшой величиной. Исключение составлял максимум значений БКП, расположенный в западной части Гомельской области, который был более выражен, чем в настоящее время. Данный подпериод характеризовался отсутствием крупного минимума значений БКП в Центральной Украине. Это объясняется тем, что в течение данного подпериода распределение величины количества осадков и температуры по рассматриваемой территории было менее контрастным, чем в течение периода 1989–2015 гг. [6]. В течение первой половины периода современного потепления климата (1989–2000 гг.) произошло существенное усиление неравномерности распределения количества осадков и температуры по рассматриваемой территории, что привело к существенному увеличению мощности локальных экстремумов значений БКП и формированию минимума значений БКП в Центральной Украине. Другая половина периода современного потепления климата (2001–2015 гг.) характеризуется практически аналогичным распределением значений БКП. Изменения коснулись лишь мощности отдельных экстремумов значений БКП: минимум значений БКП в Центральной Украине и максимум значений БКП на юго-западе Украины усилились, а максимум значений БКП, расположенный на западе Гомельской области Беларуси, ослаб. Данные изменения незначительны по своей величине, поэтому их можно объяснить межгодовыми флюктуациями температуры и количества осадков в данных регионах.

В среднем значения БКП для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур становились более оптимальными на протяжении всего рассматриваемого периода. Исключение составляют лишь украинские станции, где за подпериод 2001–2015 гг. было отмечено некоторое снижение значений БКП.

Рассмотрим экстремумы оптимальных значений БКП для выращивания сельскохозяйственных культур по отдельным станциям и странам. Распределение экстремумов значений БКП по рассматриваемой территории сильно зависит от местных особенностей распределения температуры и количества осадков, которые слабо подчиняются широтной зональности. Оно аналогично распределению экстремумов значений БКП, рассчитанного непосредственно по методике Д. И. Шашко. Вследствие этого минимумы и максимумы оптимальных значений БКП для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур во многом совпадают с экстремумами значений БКП, рассчитанного непосредственно по методике Д. И. Шашко. Исключение составляют лишь экстремумы значений БКП для территории Беларуси: здесь наименьшими значениями БКП характеризовалась станция Полесская, а наибольшими – станция Житковичи. Причины этого заключаются в следующем. Ранее уже упоминалось, что значения оптимального БКП для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур теснее связаны с величиной количества осадков, чем значения БКП, рассчитанные непосредственно по методике Д. И. Шашко. Станция Полесская характеризуется низкими значениями средних температур, ненамного превышающими ее значения для станций Верхнедвинск и Горки. Однако по сравнению с этими станциями на станции Полесская выпадает меньшее количество осадков. Станция Житковичи, характеризующаяся средними температурами, ненамного меньшими, чем для станций Гомель и Василевичи, отличается более высоким количеством осадков. В целом по всей рассматриваемой территории самыми низкими значениями БКП характеризовалась станция Ресейней, а самыми высокими – станция Дрогобыч.

Рассмотрим связь изменений значений биоклиматического потенциала с изменениями урожайности сельскохозяйственных культур. Результаты расчета коэффициентов корреляции между значениями индекса БКП и величиной урожайности отдельных сельскохозяйственных культур за разные периоды времени по различным регионам показали, что в абсолютном большинстве случаев они являются статистически незначимыми: значения коэффициентов корреляции не превышают 0,4 или даже являются отрицательными. Статистически значимая корреляция характерна только значениям БКП и урожайности сахарной свеклы для территории Беларуси (0,45–0,65). В целом для Беларуси, особенно для центральных районов страны, характерны наибольшие значения коэффициентов корреляции урожайности сельскохозяйственных культур и значений БКП. Это говорит о повышенной зависимости сельского хозяйства Беларуси от биоклиматических условий. В Литве средние значения коэффициента корреляции не превышают 0,2. При этом необходимо отметить, что средняя урожайность практически всех сельскохозяйственных культур в Литве выше, чем в Беларуси и Украине, хотя в Литве климатические условия для ведения сельского хозяйства не отличаются в лучшую сторону. Данное обстоятельство доказывает преобладающую роль агротехники в формировании урожая. Для

Украины значения коэффициентов корреляции БКП и урожайности сельскохозяйственных культур оказались преимущественно отрицательными. Это говорит о том, что на урожайность сельскохозяйственных культур в Украине наибольшее влияние оказывают иные факторы, такие как культура земледелия и плодородие почв.

Выводы

Подводя итоги проведенного анализа, можно сделать следующие выводы.

1. На протяжении всего рассматриваемого периода (1977–2015 гг.) по территории Беларуси, Литвы и Украины наблюдался положительный тренд значений БКП, однако в период с 2001 по 2015 г. величина тренда уменьшилась. Это особенно заметно в южных регионах.

2. Значения БКП, рассчитанные по методике Д. И. Шашко, увеличиваются при продвижении с северо-запада на юг. Эта особенность прослеживается на протяжении всего рассматриваемого периода, однако в течение периода 1989–2015 гг. она становится менее выраженной.

3. Распределение оптимальных значений БКП для выращивания отдельных сельскохозяйственных культур характеризовалось отсутствием четко выраженного повышения значений БКП при продвижении с севера на юг на протяжении всего рассматриваемого периода и абсолютным преобладанием локальных максимумов и минимумов значений БКП.

4. Неоднородный характер изменений температуры и количества осадков обусловил ряд аномалий в распределении значений БКП по рассматриваемой территории. Так, за период 2001–2015 гг. значения индекса БКП для территории Украины оказались ниже, чем для Южной Беларуси.

5. Распределение экстремумов значений БКП по отдельным станциям преимущественно не соответствует широтной зональности и показывает преобладающее влияние местных особенностей распределения температуры и количества осадков на величину БКП.

6. Слабые положительные или даже отрицательные значения коэффициентов корреляции между величиной урожайности сельскохозяйственных культур и значениями БКП показывают, что роль климатических факторов в формировании урожая менее значима по сравнению с агротехникой (культурой земледелия). Для территории Беларуси роль климата в формировании урожаев оказывается более существенной, чем в Литве, где культура земледелия остается более высокой.

7. Ведущие факторы в формировании урожаев несколько отличаются в зависимости от рассматриваемого региона. В Беларуси это уровень агротехники и климат, в Литве доминирующее влияние имеет культура земледелия, в Украине высока роль плодородия почв.

Таким образом, можно сказать, что характер распределения и изменения значений БКП определяется в первую очередь местными особенностями распределения температуры и количества осадков. В целом изменения значений БКП характеризуются положительным трендом, однако в последние годы он нарушается в южных регионах рассматриваемой территории, поэтому нельзя однозначно утверждать, что потепление климата благоприятно отразилось на величине БКП. Анализ корреляции значений БКП и урожайности сельскохозяйственных культур показал, что связь между данными характеристиками относительно слаба, и что повышение значений БКП не всегда приводит к повышению урожайности, поскольку на ее величину оказывают влияние другие факторы: культура земледелия и плодородие почв, значимость которых варьируется в зависимости от рассматриваемого региона.

Список использованных источников

1. Шашко, Д. И. Агроклиматические ресурсы СССР / Д. И. Шашко. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – 248 с.
2. Колосков, П. И. Климатический фактор сельского хозяйства и агроклиматическое районирование / П. И. Колосков. – Л. : Гидрометеоиздат, 1974. – 328 с.
3. Сиротенко, О. Д. Имитационная система «Климат–урожай СССР» / О. Д. Сиротенко // Метеорология и гидрология. – 1995. – № 4. – С.107–114.
4. Логинов, В. Ф. Оценка неопределенностей в изменении глобальной температуры за период инструментальных наблюдений / В. Ф. Логинов // Природопользование : сб. науч. тр. – 2015. – Вып. 27. – Минск, 2015. – Вып. 27. – С. 61–67.
5. Логинов, В. Ф. Сезонные особенности изменения климата Беларуси / В. Ф. Логинов, Ю. А. Бровка // Природопользование : сб. науч. тр. – 2014. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С.16–22.
6. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
7. Логинов, В. Ф. Изменения климата в Беларуси и их последствия для ключевых секторов экономики (сельское, лесное и водное хозяйство) / В. Ф. Логинов. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2010. – 152 с.
8. Изменения климата Беларуси и их последствия / В. Ф. Логинов [и др.] ; под ред. В. Ф. Логинова. – Минск : Тонпик, 2003. – 330 с.

9. Статистическая база данных Продовольственной и сельскохозяйственной организаций ООН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fao.org/faostat/en/>. – Дата доступа: 12.02.2017.
10. Мищенко, З. А. Агроклиматология / З. А. Мищенко. – Киев : КНТ, 2009. – 512 с.
11. Каюмов, М. К. Программирование продуктивности полевых культур: справочник / М. К. Каюмов. – М. : Росагропромиздат, 1989. – 370 с.
12. Программное обеспечение ArcGIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.arcgis.com/>. – Дата доступа: 25.01.2017.

References

1. Shashko D. I. *Agroklimaticheskiye resyrsy SSSR* [Agroclimatic resources of USSR], Leningrad, 1985, 248 p.
2. Koloskov P. I. *Klimaticheskiy faktor sel'skogo hozyaystva i agroklimaticeskoye rayonirovaniye* [Climatic factor of agriculture and agroclimatic zoning], Leningrad, 1974, 328 p.
3. Sirotenko O. D. *Imitacionnaya sistema "Klimat – urozhay SSSR"* ["Climate – crop in USSR" imitation system]. *Meteorologiya i gidrologiya = Meteorology and hydrology*, 1995, no. 4, pp. 107–114.
4. Loginov V. F. *Ocenka neopredelyonnostey v izmenenii global'noy temperatury za period instrumental'nyh nablyudenii* [Assessment of uncertainty of global temperature changes for the period of instrumental observations]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2015, no. 27, pp. 61–67.
5. Loginov. V. F., Brovka Y. A. *Sezonnye osobennosti izmeneniya klimata Belarusi* [Seasonal features of climate changes in Belarus]. *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. 16–22.
6. Loginov V. F. *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata: prichiny i sledsviya* [Global and regional changes of climate: reasons and consequences], Minsk, TetraSystems, 2008, 496 p.
7. Loginov V. F. *Izmeneniya klimata v Belarusi i ikh posledstviya dlya klyuchevyh sektorov ekonomiki (sel'skoye, lesnoye i vodnoye hozyaystvo)* [Climate changes in Belarus and their consequences for the key sectors of economy (agriculture, forestry and water management)], Minsk, Belarusian Research Center "Ecology", 2010, 152 p.
8. *Izmeneniya klimata Belarusi i ikh posledstviya* [Climate changes in Belarus and their consequences], under the editorship of V. F. Loginov, Minsk, 2003, 330 p.
9. FAO Statistical Database (2016). Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/> (Accessed 12 February 2017).
10. Mishchenko Z. A. *Agroklimatologiya* [Agricultural climatology]. Kyiv, 2009, 512 p.
11. Kayumov M. K. *Programmirovaniye produktivnosti polevyih kul'tur: spravochnik* [Programming of the productivity of field crops: reference book], Moscow, 1989, 370 p.
12. ArcGIS Software (2016). Available at: <https://www.arcgis.com/> (Accessed 25 January 2017).

Информация об авторе

Хитриков Максим Александрович – мл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: m.a.hitrykau@gmail.com

Information about the author

Maksim A. Khitrykau – 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: m.a.hitrykau@gmail.com

МНОГОЛЕТНИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ РЕЧНОГО И ПОДЗЕМНОГО СТОКА БОЛЬШИХ И СРЕДНИХ РЕК ТЕРРИТОРИИ ОРШАНСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

О. Г. Савич-Шемет¹, М. М. Черепанский²

¹ Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь;

² Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, Москва, Россия

Аннотация. В статье выявлены многолетние и современные изменения (последние 10 лет наблюдений) речного и подземного стока рек Оршанского артезианского бассейна, выполнена количественная оценка доли различных видов питания в формировании стока с помощью расчленения гидрографа по видам питания. Показано, что основными факторами, влияющими на условия формирования подземного стока являются прежде всего климатические, геоморфологические и гидролого-гидрогеологические условия региона. Основные водоносные горизонты, дренируемые реками в Оршанском артезианском бассейне, приурочены к четвертичным, меловым и девонским отложениям. Результаты анализа многолетних и современных изменений подземного стока выявили общий тренд увеличения среднемноголетней величины подземного стока рек бассейна, который, по-видимому, связан с повышением температуры воздуха, и, как следствие, увеличением частоты оттепелей, прохождением зимних паводков, смещением на более ранние сроки дат начала весеннего половодья и прохождения наибольшего расхода воды. В годовом разрезе подземный сток вырос в январе-марте, а величина доли дисперсии, выбираемой линейными трендами в рядах наблюдений за подземным стоком рек Оршанского артезианского бассейна составила: в январе для р. Днепр – 14,1–27,7 %, р. Сож – 13,4–32,9, р. Проня – 29,6 %; в феврале для р. Днепр – 26,7–31,0 %, р. Сож – 10,5–29,3, р. Проня – 15,2 %; в марте для р. Днепр – 14,9–19,0 %, р. Сож – 3,2–14,2, р. Проня – 1,5 %. Полученные результаты свидетельствуют о том, что подземный сток в зимнюю межень увеличился, что обусловлено мягкими зимами, наличием частых оттепелей и достаточным увлажнением территории.

Ключевые слова: коэффициент подземного питания рек; модуль подземного стока; подземный сток; речной бассейн; речной сток; тренд.

Для цитирования. Савич-Шемет О. Г., Черепанский М. М. Многолетние и современные изменения речного и подземного стока больших и средних рек территории Оршанского артезианского бассейна в условиях изменяющегося климата // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 150–161.

LONG-TERM AND MODERN CHANGES IN RIVER AND GROUNDWATER FLOW OF LARGE AND MEDIUM RIVERS OF ORSHA ARTESIAN BASIN TERRITORY IN A CHANGING CLIMATE

O. G. Savich-Shemet¹, M. M. Cherepanskii²

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

² Russian State Geological Prospecting University after Sergo Ordzhonikidze, Moscow, Russia

Abstract. The article reveals the long-term and modern changes in river and groundwater flow in Orsha artesian basin, a quantitative assessment of the proportion of different types of rivers by flow supply through the hydrograph's subdivision is executed. It is shown that the main factors influencing the formation of groundwater flow are primarily climatic, geomorphological, hydrological and hydrogeological conditions of the region. The main aquifers drained by rivers in Orsha artesian basin is confined to the Quaternary, Cretaceous and Devonian sediments. The results of the analysis of perennial and contemporary changes in groundwater showed a general trend of increasing mean annual value of groundwater flow that is associated, apparently, with increasing temperature, and as a consequence with increasing the frequency of thaws, passing the winter floods, the shift to dates of spring flooding start and the passage of greatest flow of water. In the context of the annual groundwater flow increased in January-March, and the portion of the variance, that associated with the linear trends in the observation series of groundwater flow was following: in January for the river Dnieper – 14,1–27,7 %, the river Sozh – 13,4–32,9, the river Pronya – 29,6 %; in February the river Dnieper is 26,7–31,0 %, the river Sozh – 10,5–29,3, the river Pronya 15,2 %; in March the river Dnieper – 14,9–19,0 %, the river Sozh – 3,2–14,2, the river Pronya – 1,5 %. The results indicate that groundwater flow in winter low-water period has increased due to mild winters, with frequent thaws and sufficient moistening of the territory.

Key words: coefficient of the rivers' groundwater supply; module of groundwater flow; groundwater flow; river basin; river flow; trend.

For citation. Savich-Shemet O. G., Cherpanskii M. M. Long-term and modern changes in river and groundwater flow of large and medium rivers of Orsha artesian basin territory in a changing climate. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 150–161.

Введение. Оршанский артезианский бассейн входит в состав Московского мегабассейна подземных вод и приурочен к центральной и северо-восточной части Беларуси. Мощность осадочных пород достигает 1500–1700 м. В бассейне по степени дренирования реками и условиям взаимосвязи поверхностных и подземных вод выделяются две гидродинамические зоны – активного и замедленного водообмена. Первая зона объединяет пресные воды четвертичных, меловых и девонских отложений, мощностью 300–350 м, уменьшаясь до 200 м в сторону Жлобинской седловины. Вторая зона, расположенная ниже по разрезу, не имеет активной связи с поверхностью [1].

Гидографическая сеть Оршанского артезианского бассейна представлена р. Днепр с притоками рек Березина и Сож и р. Западная Двина. В качестве объекта исследований многолетних и современных изменений речного стока, исходя из анализа физико-географических, геологогидрогеологических и водохозяйственных аспектов территории, выбран бассейн стока р. Днепр с притоком р. Сож.

Природно-климатические, гидрологические и геолого-гидрогеологические условия Оршанского артезианского бассейна. Атмосферные осадки являются одним из главных факторов формирования речного стока. Основными исходными материалами в работе послужили данные Республиканского гидрометеорологического центра Минприроды Республики Беларусь: многолетние наблюдения за величиной атмосферных осадков (среднемесячные, максимально наблюденные), температурой атмосферного воздуха, относительной влажностью, высотой снежного покрова, дефицитом насыщения, температурой почвы проводятся на метеорологических станциях – г. Орша, Бобруйск, Могилев и др. (табл. 1).

Территория Оршанского бассейна отличается достаточным увлажнением. Годовое количество осадков колеблется от 650–700 мм в юго-западной части бассейна до 720–790 мм на северо-востоке. В течение года осадки распределяются неравномерно. Большая часть их, 70–75 % годовой суммы, выпадает в теплый период года с апреля по октябрь, тогда и происходит пополнение запасов подземных вод.

Температура воздуха оказывает влияние на формирование летне-осеннего минимального стока рек через скорость испарения, а зимнего – через интенсивность льдообразования. Средняя годовая температура на рассматриваемой территории изменяется от 3,5 °C на северо-востоке до 6,0–6,7 °C на юго-западе и юге. Самый холодный месяц – январь; его средняя температура –6,7 °C. Самые низкие абсолютные минимумы приходятся на январь и февраль и достигают в бассейне р. Западная Двина –41°C, а на всей остальной территории –35...–39 °C. Самый теплый месяц – июль, средняя температура которого 17,8 °C.

Гидрологические условия. Гидографическая сеть Оршанского артезианского бассейна представлена р. Днепр с притоками р. Березина и Сож, р. Западная Двина и малыми реками.

Река Днепр берет начало на Валдайской возвышенности. Длина реки – 2201 км, в том числе на территории Беларуси – 700 км. Густота эрозионной сети – 0,39 км/км². На всем течении реки по территории Беларуси она является судоходной. Ширина долины – от 0,5–1,5 до 5–1 км, при слиянии с р. Сож – до 35–50 км. Максимальная глубина вреза (70–80 м) установлена в районе г. Орши [2].

В долине Днепра выделяются пойма и две надпойменные террасы. На отдельных участках обособляется еще более высокий уровень, который рассматривается как перигляциальная терраса [1]. Пойма развита практически повсеместно. Ее высота снижается вниз по течению от 5–6 до 2–3 м, различаются два пойменных уровня. Пойма в большинстве случаев аккумулятивная, нередко заболоченная. В 9 км выше г. Орши выходы девонских пород образуют в русле реки Кобелякские пороги.

Река Березина – единственный из крупных водотоков (длина – 613 км), который от истоков до устья протекает по территории Беларуси. Истоки реки располагаются в заболоченном понижении юго-западнее Докшиц. Густота эрозионной сети – 0,35 км/км². Ширина долины – от 200–300 м в верховье до 5–10 км и более в среднем и нижнем течении, врез – от 10–15 до 20–25 м. Выделяются пойма и две надпойменные террасы.

Таблица 1. Хронология ведения метеорологических наблюдений на территории исследований

Table 1. The chronology of meteorological observations conducting on the territory of research

Артезианский бассейн	Ежемесячные данные		Срочные данные	Суточные данные
	Осадки	Средняя месячная температура		
Оршанский	С 1891–1905 г. с перерывом 1933(41)–1945 гг. по 2014 г.	С 1905 г. с перерывом 1933(41)–1945 гг. по 2014 г.	1961–2014 гг.	1955–2014 гг.

Река Сож берет начало в пределах Смоленско-Московской возвышенности вблизи г. Смоленска. На территории Беларуси располагается долина среднего и нижнего Сожа. Длина реки – 648 км (на территории Беларуси – 493 км). Густота эрозионной сети – 0,38 км/км². Ширина долины изменяется от 1,5–3,0 до 15–18 км. Ниже г. Гомеля совместная долина с р. Днепр достигает 35–50 км. Врез варьирует от 30–40 до 50–55 м. Выделяются пойма и две надпойменные террасы. Пойма чаще всего аккумулятивная.

Геолого-гидрогеологические условия. На территории Оршанского артезианского бассейна в толще осадочных пород выделяется несколько десятков водоносных горизонтов и комплексов, отличающихся стратиграфическими объемами, литологическим содержанием, пространственной структурой, водонасыщенностью и др. В зоне активного водобмена распространены водоносные горизонты и комплексы четвертичных, меловых и девонских отложений [1, 3–5].

Четвертичный водоносный комплекс. Четвертичные отложения представлены чередованием моренных суглинков и супесей с водно-ледниковыми, озерно-болотными и аллювиальными образованиями – песками, супесями, торфами. Мощность этих отложений изменяется от нескольких до 300 м и более, составляя в среднем 80 м. Наименьшие мощности наблюдаются на низинах и равнинах (20–60 м), наибольшие – на возвышенностях (120–240 м, максимум – 325 м). Выделяются водоносные горизонты и подкомплексы в надморенных, межморенных и подморенных отложениях и разделяющие их слабопроницаемые толщи моренных отложений. Водовмещающие отложения отличаются пестротой и разнообразием литологического состава частым выклиниванием не выдержаных по площади и в разрезе водовмещающих и слабопроницаемых пород, что обуславливает условия гидравлической связи между ними и образование единого водоносного комплекса четвертичных отложений.

Первый от поверхности горизонт грунтовых вод распространен в разновозрастных покровных отложениях. Это, главным образом, флювиогляциальные отложения поозерского, сожского и днепровского оледенения, верхнечетвертичные и современные аллювиальные, озерно-аллювиальные и озерно-болотные образования. Мощность горизонта грунтовых вод изменяется от 0 до 30 м и составляет в среднем 5–15 м [1, 3–5].

Основными водоносными подкомплексами четвертичных отложений, содержащими напорные воды, являются межморенные сожско-поозерский, днепровско-сожский и березинско-днепровский (табл. 2).

Сожский-поозерский водоносный подкомплекс распространен в северной части бассейна, до границы поозерского оледенения. Глубина залегания кровли изменяется от нескольких до 90 м, мощность водовмещающих отложений – от 3 до 50 м, составляя в среднем 10–20 м.

Днепровско-сожский водоносный комплекс распространен на большей части Оршанского артезианского бассейна. Глубина залегания кровли изменяется от 2–40 м в долинах рек до 100–195 м на водоразделах. Мощность водовмещающих отложений достигает 50–90 м, преобладают значения 10–20 м.

Березинский-днепровский водоносный подкомплекс распространен почти на всей территории бассейна. Глубина залегания комплекса в северной части площади достигает 100–200 м, в центральных районах – 70–100, на юге – 20–80 м. Мощность изменяется от 2–10 до 100–170 м и более в древних погребенных долинах.

Таблица 2. Характеристика водоносных комплексов четвертичных отложений

Table 2. The characteristics of the aquifers complexes of quaternary sediments

Характеристика комплекса	Сожско-поозерский	Днепровско-сожский	Березинско-днепровский
Глубина залегания кровли, м	2–90	2–40 в долинах рек до 100 м и более на водоразделах	1–170
Мощность водовмещающих отложений, м	3–50 (среднее 10–20)	2–74 (среднее 15–30)	от 2–10 до 100–170 м и более в древних погребенных долинах
Пьезометрические уровни, м	1–55 м (в долинах рек иногда до 1,5 м выше поверхности земли)	1–6 м в долинах рек и до 30–53 м на водоразделах	1–78 м (в долинах рек иногда до 2,5 м выше поверхности земли)
Величина напора над кровлей, м	80	1–90	1–134
Коэффициенты фильтрации, м/сут	3–10	0,2–50 (средний – 5–15)	0,2–26
Удельные дебиты скважин, л/с	0,02–3,50	0,01–9,50	0,01–4,30

Моренные отложения, разделяющие водоносные подкомплексы, отличаются площадной невыдержанностью как по мощности, так и по литологическому составу. Мощность морен составляет в среднем 10–30 м, но в доледниковых долинах возрастает от 50–60 до 100–120 м. Сожская морена на значительной территории имеет мощность 10–20 м, в районе возвышенностей – более 40 м. Днепровская морена – преимущественно 10–20 м, островками – более 20 м. Березинская морена – 10–20 м, на окраинах распространения – менее 10, редкими мелкими фрагментами – более 20 м. Моренные отложения представлены, в основном суглинками и супесями, часто с гравием, галькой и валунами, линзами и прослойми песка. Нередко морена размыта и замещена песками, через которые осуществляется активная гидравлическая связь межморенных водоносных подкомплексов между собой, с грунтовыми и поверхностными водами. Верхним водоупором межморенных подкомплексов служат моренные суглинки, супеси и озерно-ледниковые глины: на севере – поозерского оледенения, на остальной площади – сожского и днепровского оледенений. Нижним водоупором в северной части Республики являются морены сожского и днепровского оледенений, в центральной и южной – днепровского, местами березинского оледенений. На участках отсутствия моренных отложений, нижним водоупором в северной части являются отложения верхнего и среднего девона, представленными глинами, не имеющими сплошного распространения. По всей территории исследований четвертичный комплекс имеет непосредственную гидравлическую связь с нижезалегающими комплексами.

Пьезометрические уровни межморенных водоносных подкомплексов на водораздельных участках имеют максимальные абсолютные отметки, но устанавливаются ниже уровней грунтовых вод. К речным долинам наблюдается снижение уровней напорных вод до минимальных отметок, но, тем не менее, превышающих отметки уровней грунтовых и поверхностных вод. Это свидетельствует о том, что питание напорных водоносных комплексов происходит на возвышенных участках за счет инфильтрации атмосферных осадков и перетекания из горизонта грунтовых вод, а разгрузка – в долинах рек. В целом поверхность подземных вод повторяет в слаженном виде современный рельеф, а вся четвертичная толща может рассматриваться как единая гидродинамическая система, в которой подземные воды всех водоносных горизонтов и комплексов формируют единый поток. Пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах от долей метра до 30 м на водоразделах – до 50 м и более, а в долинах рек поднимаются выше поверхности земли на 0,8–7,0 м (Неман, Березина, Двиноса, Улла и др.).

Разнообразие гранулометрического состава водовмещающих песков, изменчивость мощности обуславливают пестроту водообильности четвертичного водоносного комплекса. Удельные дебиты скважин колеблются в больших пределах – от 0,01 до 1,1 л/с, местами достигая 5–10 л/с, чаще встречаются 0,2–0,4 л/с. Коэффициент фильтрации водовмещающих пород меняется по площади и в разрезе в пределах 0,6–20,0 м²/сут. Водопроводимость изменяется по площади для подкомплексов: сожско-поозерского – от 40 до 320, преобладают значения 100–200 м²/сут; днепровско-сожского – от 10 до 500, составляя чаще 120–230 м²/сут; березинско-днепровского – от 50–100 до 200–300, преобладают значения 50–70 м²/сут.

По химическому составу и общей минерализации воды напорного четвертичного комплекса на всей площади распространения относятся к пресным, гидрокарбонатным кальциево-магниевым с минерализацией 0,1–0,5 г/л. Исключение составляют участки антропогенного загрязнения и разгрузки минерализованных вод в долинах некоторых рек (Западная Двина, Припять, Днепр, Березина, Птич и др.). Как правило, в этих водах отмечается повышенное содержание железа и недостаток фтора согласно требованиям СанПиН 10-124 РБ99 на питьевые воды.

Водоносный комплекс верхнемеловых отложений распространен в юго-восточной части Оршанского бассейна. Залегает на альб-сеноманских отложениях мела, юры, девона верхнего протерозоя и кристаллических породах фундамента. Пересяивается четвертичными отложениями мощностью 2–20 м, достигая 80–190 м. Водовмещающими служат трещиноватые и закарстованные мела и мергели с редкими прослойями глин и песков маастрихского, кампанского, сантонского, коньякского, туронского ярусов и опесчаненные мела верхнего сеномана. Водоносный комплекс напорный. Пьезометрические уровни в скважинах устанавливаются на глубине от 0,5 до 25 м, в поймах рек наблюдается самоизлив. Напоры над кровлей водовмещающих пород изменяются от 5 до 230 м и увеличиваются по мере погружения от границ распространения в сторону впадин. Пьезометрическая поверхность закономерно снижается от возвышенностей и междуречных пространств в сторону долин рек, в которых происходит разгрузка подземных вод. От Минской и Новогрудской возвышенностей с гидроизыезами от 240–250 м происходит снижение напоров к р. Днепр до отметок 120–130 м.

Водообильность комплекса неравномерна и зависит от степени трещиноватости и закарстованности водовмещающих пород. Наиболее частые удельные дебиты скважин – 0,2–1,0 л/с, в среднем 0,4, максимум – до 1,7–2,3, минимум – до 0,1 л/с. Коэффициенты фильтрации изменяются от 0,05–0,5 до 40 м²/сут. Водопроводимость – от 10–50 до 170–260 м²/сут. Питание водоносного комплекса осуществляется за счет поступления с водораздельных пространств и повышенных участков путем перетекания из вышележащих отложений.

Подземные воды комплекса характеризуются как пресные, гидрокарбонатного кальциевого типа, соответствующие требованиям СанПиН 10-124 РБ99 на питьевые воды, за исключением повышенного содержания железа, что требует соответствующей водоподготовки.

Водоносный комплекс альб-сеноманских отложений нижнего и верхнего мела распространен в юго-восточной части Оршанского бассейна. Приподнятые участки кристаллического фундамента и древние эрозионные врезы обусловили весьма неровную его северную границу, а также островное отсутствие на отдельных участках. Залегает на старооскольских и ланских отложениях девона и глинах и алевролитах нижнего мела и верхней юры.

Водовмещающие породы представлены нижней частью сеноманского и альбским ярусами. Водоносными породами служат глауконито-кварцевые пески различного гранулометрического состава, от тонко- до крупнозернистых, с преобладанием мелкозернистых, иногда глинистых или алевритистых, местами с включением гравия и мелкой гальки, редко – рыхлые песчаники.

На большей части распространения альб-сеноманский комплекс залегает на глубинах 50–100 м, лишь у границы выклинивания на севере бассейна кровля его встречена на глубине менее 50 м. Мощность песчаных отложений альб-сеномана постепенно увеличивается от юго-запада Оршанского бассейна. У северной границы и в средней зоне островного распространения она составляет 0–5 и 5–10 м, увеличиваясь в восточном и западном направлениях до 20, 30, 40 и достигая 50–60 м.

Водоносный комплекс пластово-поровый, напорный. Самоизливы наблюдаются в долинах рек, что свидетельствует о дренировании горизонта р. Днепр, Сож и др. Девонские отложения выходят на дневную поверхность только в долинах рек, где четвертичные отложения размыты – такие выходы девонских известняков известны на р. Днепр у г. Орши и некоторых ее притоках.

Водоносная толща девонских отложений широко распространена в Оршанском бассейне, при этом по территории бассейна р. Днепр в толще девонских отложений выявлены три водоносных комплекса, имеющих различную площадь распространения: франкско-фаменских терригенно-карбонатных отложений верхнего девона; полоцких и ланских терригенных отложений среднего и верхнего девона и витебских-наровских терригенно-карбонатных отложений среднего девона.

Водоносный комплекс франкско-фаменских отложений распространен на северо-востоке бассейна Днепра, а также в районе г. Слуцка и Солигорска. Водовмещающие породы представлены в различной степени трещиноватыми и кавернозными, нередко закартированными доломитами с невыдержаными прослоями мергелей и глин, местами гипсов и ангидритов. Глубина залегания водовмещающих пород изменяется от 26,0 до 82,5 м.

Водоносный комплекс полоцких и ланских отложений широко распространен на территории Республики Беларусь. Водовмещающие породы преимущественно мелкозернистыми песками и слабоцементированными песчаниками, переслаивающимися с глинисто-алевролитовыми породами. Мощность изменяется от 3 до 200 м, увеличиваясь в сторону Припятской и Оршанской впадин.

Водоносный комплекс витебских-наровских отложений широко распространен на западе бассейна р. Днепр. Водовмещающие породы представлены трещиноватыми, местами кавернозными доломитами, доломитизированными известняками, реже мергелями, переслаивающимися с глинами, песками и песчаниками. Общая мощность описываемой толщи изменяется от 7 до 200 м и более.

Многолетние и современные изменения количественных характеристик речного стока больших и средних рек территории исследований. Для определения многолетних и современных изменений количественных характеристик речного стока больших и средних рек территории исследований анализу были подвергнуты количественные характеристики стока рек по данным наблюдений гидрологических постов: р. Днепр – Речица, Могилев, Орша, Жлобин; р. Сож – Гомель, Славгород, Кричев; р. Проня – Летяги. Период наблюдений на гидрологических постах приведен в табл. 3, продолжительность периода наблюдений составляет 75–126 лет.

Таблица 3. Ведение гидрологических наблюдений на территории исследований

Table 3. Hydrological observations conducting on the territory of research

Пост	Период, гг.	Количество лет
<i>Бассейн р. Днепр</i>		
Речица	1895–2015	117
Могилев	1931–2015	81
Орша	1882–2015	126
Жлобин	1936–2015	75
<i>Бассейн р. Сож</i>		
Гомель	1900–2015	111
Славгород	1897–2015	113
Кричев	1976–2016	39
<i>Бассейн р. Проня</i>		
Летяги	1932–2015	65

Многолетние колебания среднегодового стока рек Днепр и Сож за период 1945–2015 гг. представлены на рис. 1, 2.

Статистически значимых трендов в рядах наблюдений за среднегодовым стоком рек Днепр, Сож, Проня не выявлено. Минимальный, максимальный и среднемноголетний сток рек за период инструментальных наблюдений представлен в табл. 4.

В многолетнем разрезе произошло изменение внутригодового распределения стока, уменьшились наибольшие расходы воды и объем стока весеннего половодья. На современном этапе проявилось перераспределение стока внутри года, особенно для зимних и весенних месяцев. На территории исследований заметно увеличились средние месячные расходы воды в январе–марте и в табл. 5 представлены результаты вычисления доли дисперсии, выбираемой линейными трендами в рядах наблюдений за стоком рек Оршанского артезианского бассейна, которая составляет в среднем 19,7 % (10,5–32,9 %) (рис. 3). Достаточно низкими значениями мощности линейных трендов характеризуется весенний сток постов Кричев на р. Сож и Летяги на р. Проня, что скорее всего обусловлено короткими для таких исследований периодами наблюдений.

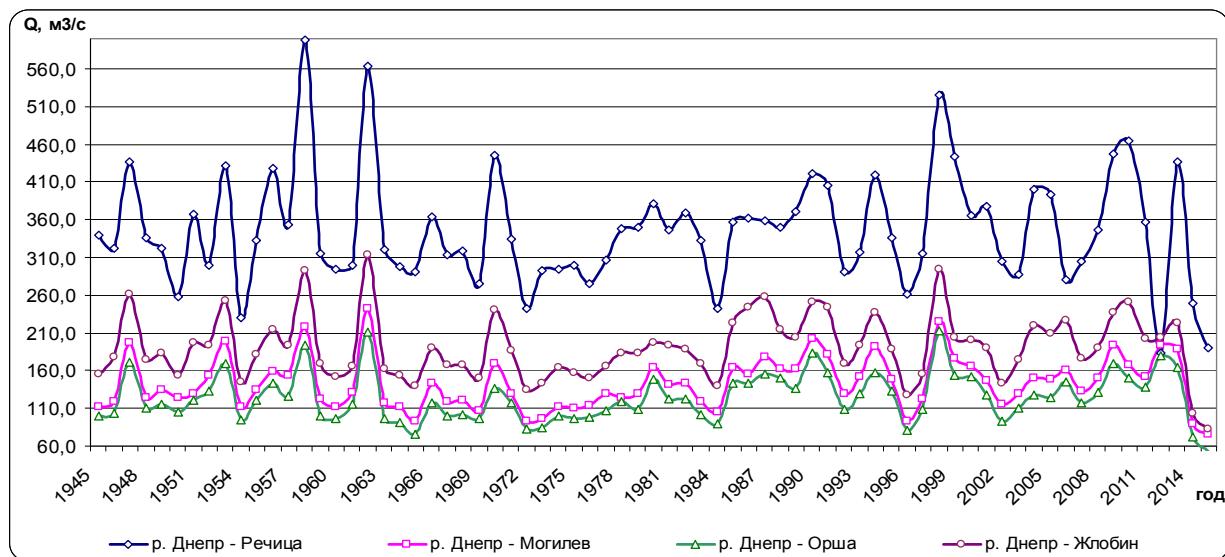


Рис. 1. Многолетние колебания среднегодового стока р. Днепр

Fig. 1. Long-term fluctuations in the average annual flow of the Dnieper river

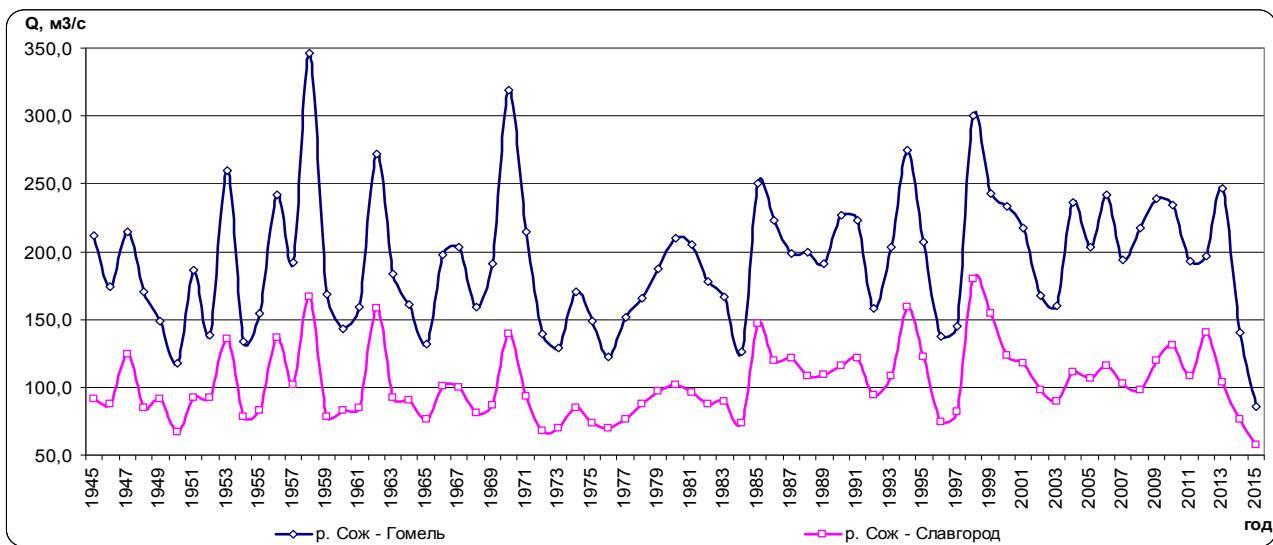


Рис. 2. Многолетние колебания среднегодового стока р. Сож

Fig. 2. Long-term fluctuations in the average annual flow of the Sozh river

Таблица 4. Минимальный, максимальный и среднемноголетний сток рек территории исследований за период инструментальных наблюдений, м³/с

Table 4. Minimum, maximum and average long-term rivers flow on the territory of research for the period of instrumental observations, m³/s

Показатель	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>р. Днепр – Речица</i>													
1	217,1	214,8	338,8	1046,6	824,5	308,6	230,0	214,4	203,7	222,1	258,3	230,2	358,2
2	85,0	89,0	107,0	320,0	206,0	114,0	104,0	58,0	60,0	107,0	64,0	77,0	175,9
3	451,0	571,0	979,0	2860,0	2400,0	872,0	629,0	897,0	611,0	591,0	680,0	669,0	597,8
<i>р. Днепр – Могилев</i>													
1	75,9	73,6	148,6	518,5	297,6	103,8	81,6	74,1	77,7	86,9	101,1	90,3	144,2
2	23,5	26,4	28,6	169,0	83,0	45,5	36,0	28,8	27,2	30,8	34,3	31,6	74,9
3	220,0	254,0	500,0	1240,0	1080,0	351,0	371,0	301,0	424,0	298,0	379,0	269,0	243,0
<i>р. Днепр – Орша</i>													
1	52,3	51,1	111,4	488,9	284,3	85,3	73,4	64,9	63,2	75,3	89,4	69,7	125,6
2	16,6	15,5	23,1	131,0	39,5	29,4	22,4	18,6	16,9	19,4	16,3	14,5	53,2
3	189,0	215,0	451,0	1070,0	1270,0	318,0	311,0	265,0	366,0	291,0	372,0	231,0	229,0
<i>р. Днепр – Жлобин</i>													
1	114,2	113,1	186,5	589,8	433,1	152,9	115,0	105,3	104,2	115,3	132,6	124,1	190,4
2	43,4	40,9	51,7	177,0	104,0	55,0	42,2	40,1	40,9	45,8	55,1	54,2	82,1
3	248,0	270,0	597,0	1580,0	1090,0	563,0	504,0	539,0	402,0	358,0	424,0	345,0	313,4
<i>р. Сож – Гомель</i>													
1	114,5	108,8	214,3	813,0	335,9	140,2	109,4	99,2	98,9	110,4	135,7	125,0	200,4
2	38,1	41,0	45,9	158,0	64,8	44,3	44,1	36,0	31,9	40,6	41,0	16,5	85,5
3	286,0	337,0	901,0	2510,0	1370,0	575,0	416,0	284,0	610,0	567,0	657,0	331,0	407,4
<i>р. Сож – Славгород</i>													
1	57,0	57,2	144,2	457,0	124,6	66,6	61,1	52,8	55,9	61,5	76,0	68,7	106,6
2	21,3	16,9	25,3	101,0	40,4	26,7	22,1	15,5	17,7	21,6	20,9	21,9	57,6
3	187,0	290,0	538,0	1270,0	694,0	313,0	294,0	179,0	461,0	242,0	371,0	164,0	223,3
<i>р. Сож – Кричев</i>													
1	47,0	49,1	103,7	213,6	68,5	45,6	39,7	33,9	39,2	46,8	53,2	47,1	64,9
2	17,2	18,7	18,9	58,6	31,4	11,8	16,0	14,4	17,3	21,1	22,8	24,0	32,7
3	85,3	187,0	242,0	512,0	142,0	119,0	95,6	117,0	116,0	205,0	152,0	93,0	110,0
<i>р. Проня – Летяги</i>													
1	17,2	19,0	47,4	84,7	23,3	17,2	16,5	14,0	15,0	17,2	20,6	18,1	25,9
2	8,2	8,1	8,7	17,8	12,4	8,0	7,8	7,3	7,2	8,9	10,2	8,1	16,1
3	31,6	81,4	159,0	286,0	60,1	60,0	131,0	36,0	66,6	50,6	71,3	35,4	45,5

П р и м е ч а н и е: 1 – среднемноголетнее, 2 – минимальное, 3 – максимальное значение.

Таблица 5. Доля дисперсии (мощность), выбираемая линейными трендами в рядах наблюдений за стоком рек территории исследований, %

Table 5. The percentage of variance (power), selected by linear trends in the series of observations at the flow of the rivers of the research area, %

Месяц	р. Днепр				р. Сож				р. Проня			
	Речица	Могилев	Орша	Жлобин	Гомель	Славгород	Кричев	Летяги				
Январь	14,1	27,7	25,4	20,1	16,6	32,9	13,4	29,6				
Февраль	26,1	29,6	26,9	31,0	29,3	23,2	10,5	15,2				
Март	18,4	14,9	15,2	19,0	14,2	13,8	3,2	1,5				

Максимальными мощностями трендов характеризуется зимний сток, как видно из табл. 5, т. е. можно говорить о значительном увеличении доли зимнего стока в годовом распределении в бассейнах рек Днепр и Сож. Увеличение доли зимнего стока рек связано с повышением температуры воздуха, с увеличением частоты оттепелей, прохождением зимних паводков, смещением на более ранние сроки дат начала весеннего половодья и дат прохождения наибольшего расхода воды.

Осенний сток рек территории исследований в период современного потепления климата также претерпел изменение в сторону увеличения на величину 10,3–40,2 % (табл. 6).

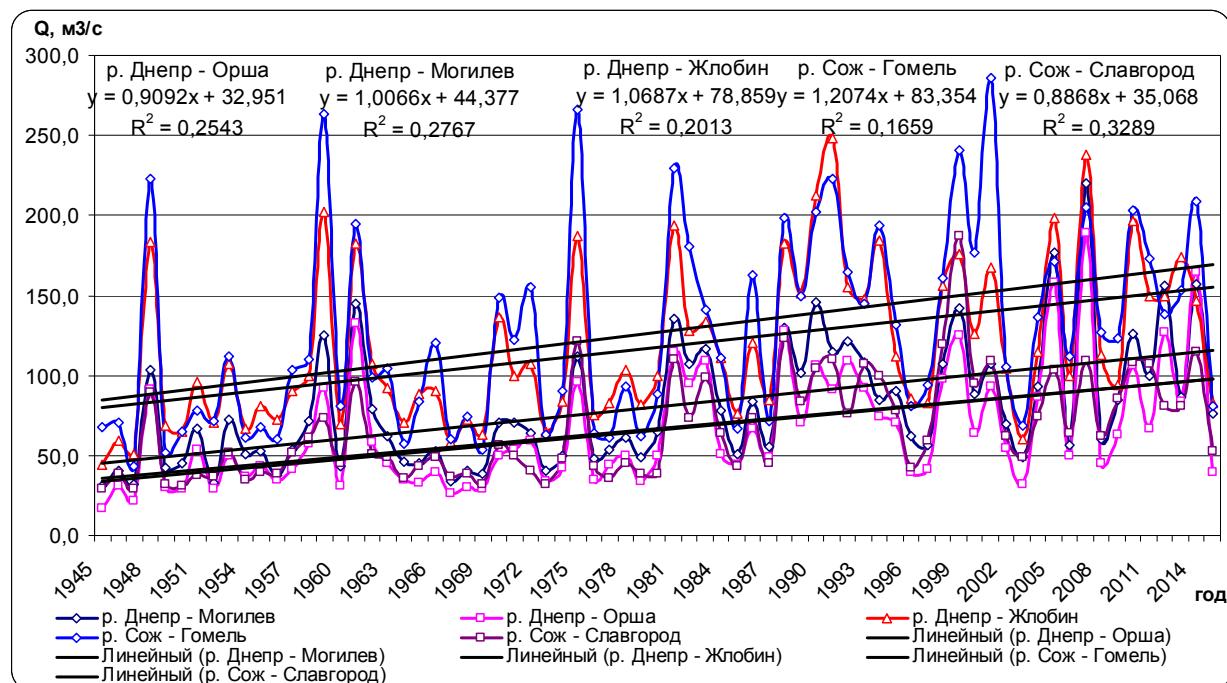


Рис. 3. Средние месячные расходы воды января месяца рр. Днепр, Сож

Fig. 3. Average monthly water expenses in January of the Dnieper, Sozh rivers

Таблица 6. Изменение среднемесячных расходов рек территории исследований в период современного потепления климата, м³/сTable 6. The change of average monthly rivers expenses of the territory of research in the period of modern climate warming m³/s

Период, гг.	Месяц									
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
<i>р. Днепр – Речица</i>										
1945–1988	1028,6	787,1	290,0	218,9	209,9	202,6	215,6	242,9	225,5	
1989–2015	736,6	615,7	345,9	252,0	219,2	218,1	249,4	288,6	288,0	
<i>р. Днепр – Могилев</i>										
1945–1988	565,4	294,4	88,6	79,8	74,2	70,0	78,8	90,1	81,5	
1989–2015	409,9	260,0	129,7	89,7	77,8	94,7	107,6	126,3	114,1	
<i>р. Днепр – Орша</i>										
1945–1988	510,9	252,0	74,7	70,3	64,0	60,2	68,2	77,9	70,5	
1989–2015	362,9	218,9	116,2	84,3	73,9	85,2	96,5	111,2	94,3	
<i>р. Днепр – Жлобин</i>										
1945–1988	653,5	467,0	140,7	113,4	108,0	100,3	108,6	124,2	113,3	
1989–2015	453,6	358,6	185,2	127,8	109,3	119,3	136,1	157,4	152,3	
<i>р. Сож – Гомель</i>										
1945–1988	825,7	298,8	118,4	102,2	92,5	95,1	105,7	118,1	110,8	
1989–2015	539,8	325,6	169,6	126,4	109,2	104,6	124,7	156,5	155,5	
<i>р. Сож – Славгород</i>										
1945–1988	452,1	107,5	57,0	56,0	47,5	51,6	55,9	64,9	65,0	
1989–2015	312,8	125,2	81,5	65,0	57,8	60,2	74,0	90,1	85,8	
<i>р. Сож – Кричев</i>										
1945–1988	235,4	61,1	32,9	30,7	28,5	35,4	37,6	42,0	38,4	
1989–2015	198,1	70,4	50,3	42,8	35,6	40,1	50,9	58,3	51,3	
<i>р. Проня – Летяги</i>										
1945–1988	103,0	20,6	15,0	16,9	12,7	14,3	14,8	17,0	16,8	
1989–2015	67,0	25,3	18,5	15,4	14,8	15,0	19,4	23,3	21,1	

На всей территории исследований отмечено снижение стока за весенне полноводье и уменьшение его доли в годовом стоке, как видно из табл. 4. Сток весенних месяцев (апрель, май) на современном этапе значительно снизился, уменьшение составило: р. Днепр – Речица (апрель – 28,4, май – 21,8 %), Могилев (апрель – 27,5, май – 11,7 %), Орша (апрель – 29,0, май – 13,1 %), Жлобин (апрель – 30,6, май – 23,2 %); р. Сож – Гомель (апрель – 34,6 %), Славгород (апрель – 30,8 %), Кричев (апрель – 15,8 %); р. Проня – Летяги (апрель – 30,9 %), в среднем составляя 24,8 % [6].

Для рек Оршанского артезианского бассейна – Днепр, Сож, Проня – выполнена количественная оценка доли различных видов питания в формировании стока с помощью графического расчленения гидрографа по видам питания (рис. 4) [7, 8].

Реки Оршанского артезианского бассейна характеризуются наличием постоянной или временной гидравлической связи речных и грунтовых вод на подъеме половодья, в результате подпора рекой грунтовых вод подземное питание уменьшается и достигает минимума при наивысшем уровне воды в реке (см. рис. 4, точка 3). При длительном стоянии высоких уровней, что более свойственно крупным рекам, происходит фильтрация речных вод в берега («отрицательное подземное питание», см. рис. 4, точка 5), а на спаде половодья или в начале межени эти воды возвращаются в реку (береговое регулирование речного стока). Согласно предложенной С. С. Белецким, В. В. Дроздом, Б. В. Поляковым, Б. И. Куделиным, К. В. Воскресенским, О. В. Поповым схеме расчленения гидрографа в момент пика половодья условно принята величина подземного питания, равная нулю (см. рис. 4, точка 4) [7, 8]. Подземная составляющая речного стока рек Оршанского артезианского бассейна изменяется в пределах 35–40 % (рис. 5).

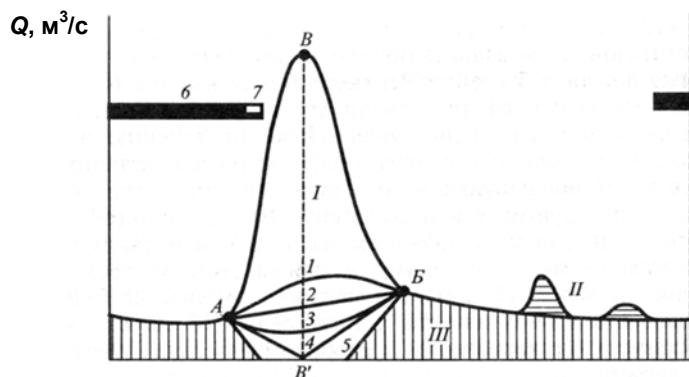


Рис. 4. Схема расчленения гидрографа реки по видам питания [7, 8]:
1–5 – линии, разделяющие снеговое и подземное питание в период половодья при различном характере взаимодействия речных и грунтовых вод (пояснения см. в тексте); 6 – ледостав; 7 – ледоход; снеговое (I), дождевое (II), подземное (III) питание; начало (A), конец (Б), пик (В) половодья

Fig. 4. The scheme of hydrograph dismemberment of the river according to the types of nutrition [7, 8]:
1–5 – lines, separating snowy and underground nutrition during high water period when different character of the cooperation of rivers and ground waters (explanations in text); 6 – freezing-over; 7 – debacle; nutrition: snowy (I), rainy (II), underground (III); the beginning (A), the end (Б), the peak (В) of high water

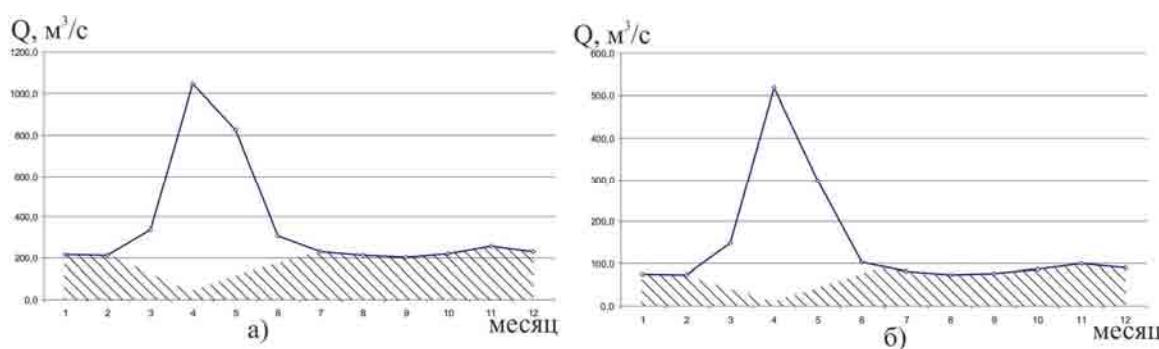


Рис. 5. Гидрограф стока р. Днепр с выделением подземного питания на постах Речицы (а) и Могилева (б)

Fig. 5. The hydrograph of the Dniepr river with the allocation of underground nutrition at the posts of Rechitsa (a) and Mogilev (б)

Многолетние колебания подземной составляющей среднегодового стока рек Днепр, Сож, Проня за период 1945–2015 гг. представлены на рис. 6, 7.

Выявлены статистически значимые тренды в рядах наблюдений за подземным стоком рек Днепр, Сож, Проня, доля дисперсии (мощность), выбираемая линейными трендами в рядах наблюдений за подземной составляющей стока территории исследований за период 1945–2015 гг. представлена в табл. 7.

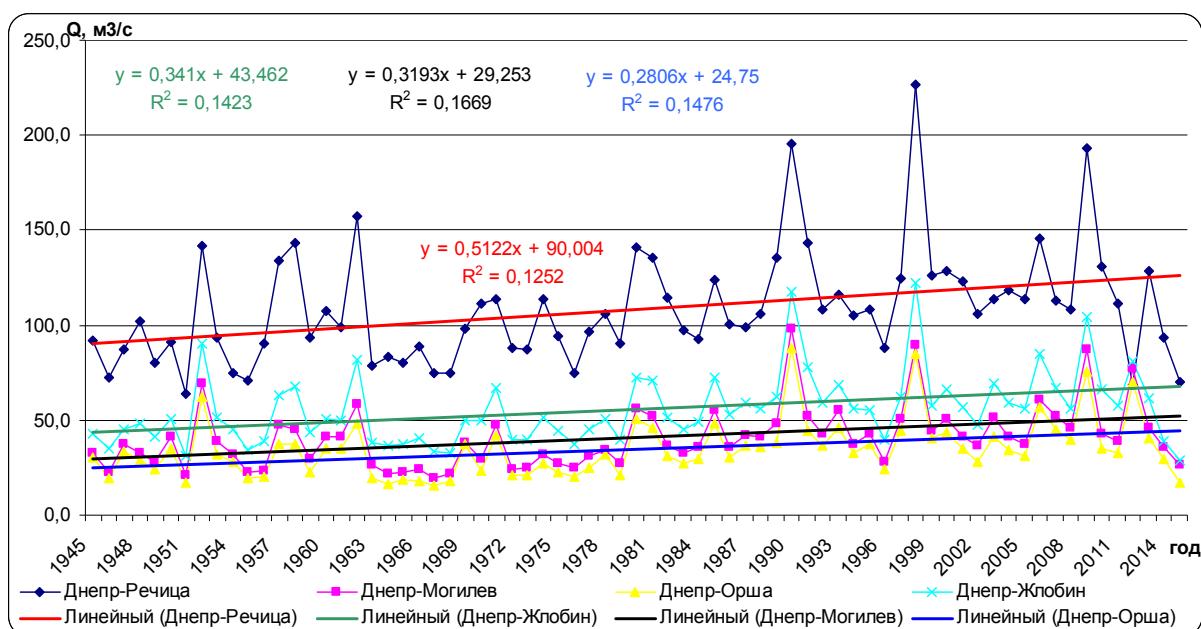


Рис. 6. Многолетние колебания подземной составляющей стока р. Днепр

Fig. 6. Long-term fluctuations in the underground component of the Dnieper river

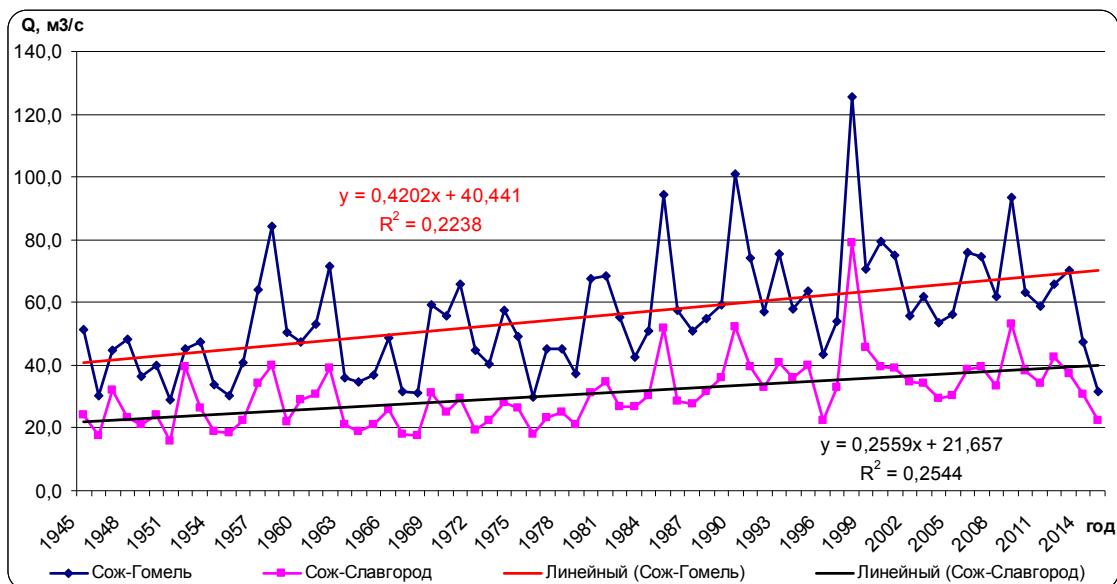


Рис. 7. Многолетние колебания подземной составляющей стока р. Сож

Fig. 7. The long-term fluctuations of underground content of the Sozh river effluent

Таблица 7. Доля дисперсии (мощность), выбираемая линейными трендами в рядах наблюдений за подземной составляющей стока рек территории исследований за период 1945–2015 гг., %

Table 7. The percentage of variance (power), selected by linear trends in the series of observations at the underground content of the rivers of the territory of research for the period of 1945–2015, %

Пока- затель Пост затель	р. Днепр				р. Сож			р. Проня
	Речица	Могилев	Орша	Жлобин	Гомель	Славгород	Кричев	Летяги
Среднемно- голетняя	13,3	17,2	18,1	14,6	22,4	25,5	0,08	26,1

Максимальными мощностями трендов характеризуется подземный сток рек Днепр и Проня, в бассейнах р. Днепр данная тенденция выражена слабее, как видно из табл. 6. Общий тренд увеличения среднемноголетней величины подземного стока рек связан, по-видимому, с повышением температуры воздуха, с увеличением частоты оттепелей, прохождением зимних паводков, смещением на более ранние сроки дат начала весеннего половодья и дат прохождения наибольшего расхода воды.

В годовом разрезе подземный сток вырос в январе-марте, а величина доли дисперсии, выбираемой линейными трендами в рядах наблюдений за подземным стоком рек Оршанского артезианского бассейна составила: в январе для р. Днепр – 14,1–27,7 %, р. Сож – 13,4–32,9, р. Проня – 29,6 %; в феврале для р. Днепр – 26,7–31,0 %, р. Сож – 10,5–29,3, р. Проня – 15,2 %; в марте для р. Днепр – 14,9–19,0 %, р. Сож – 3,2–14,2, р. Проня – 1,5 %. Подземный сток в остальные месяцы года характеризуется отсутствием четко выраженной тенденции.

Выводы. Оршанский артезианский бассейн входит в состав Московского мегабассейна подземных вод. В бассейне по степени дренирования реками и условиям взаимосвязи поверхностных и подземных вод, выделяются две гидродинамические зоны – активного и замедленного водообмена. Гидографическая сеть Оршанского артезианского бассейна представлена р. Днепр с притоками р. Березина и Сож и р. Западная Двина. Пресные подземные воды территории Оршанского артезианского бассейна приурочены как к четвертичным, так и дочетвертичным отложениям. Основные водоносные горизонты, дренируемые реками на территории Оршанского бассейна, приурочены к четвертичным, меловым и девонским отложениям.

Изменение среднемесячного стока рек обусловило изменение внутригодового распределения стока по сезонам на всех реках Оршанского артезианского бассейна, особенно это наиболее четко прослеживается в зимние и весенние месяцы. Доля дисперсии, выбираемой линейными трендами в рядах наблюдений за стоком рек зимних месяцев составляет в среднем 19,7 % (10,5–32,9 %). Осенний сток рек территории исследований в период современного потепления климата также претерпел изменение в сторону увеличения на 10,3–40,2 %. Выявлено снижение стока за весенне-половодье и уменьшение его доли в годовом стоке.

Полученные результаты современных изменений подземного стока свидетельствуют о том, что подземный сток в зимнюю межень увеличился, что обусловлено мягкими зимами, наличием частых оттепелей и достаточным увлажнением территории. Во-первых, оно увеличилось за счет снижения аккумуляции подземных вод во льду в зоне аэрации при миграции незамерзшей влаги к фронту промерзания. Во-вторых, уменьшились потери подземного питания рек на формирование ледяных образований: речного льда, наледей, сезонных подземных льдов. В-третьих, при уменьшении толщины льда в реках возрастает пропускная способность русел. В-четвертых, при уменьшении промерзания почвогрунтов возрастает их воздухопроницаемость. При более свободном проникновении воздуха в зону аэрации над грунтовыми водами зимой не создается более низкое давление, чем в атмосфере, и подземные воды свободно разгружаются в реки. В результате перечисленных процессов при увеличении зимней температуры воздуха, с одной стороны, может происходить увеличение питания подземных вод за счет роста инфильтрации атмосферных осадков, а с другой – улучшение условий дренирования водоносных горизонтов гидографической сетью.

Список использованных источников

1. Геология Беларуси / А. С. Махнач [и др.]. – Минск : Ин-т геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 815 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озёр. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – Л. : Гидрометеоиздат, 1971. – Т. 5, ч. I. – 1107 с.

3. Кудельский, А. В. Подземные воды Беларусь (ресурсы, качество, использование) / А. В. Кудельский [и др.] // Природные ресурсы. – Минск, 1999. – № 1. – С. 48–58.
4. Современное состояние подземных источников питьевого водоснабжения бассейна Днепра / под общ. ред. Л. С. Язвина, В. М. Шестакова, М. М. Черепанского. – Минск, 2004. – 87 с.
5. Региональные оценки сокращения речного стока при отборе подземных вод. – М. : НИА-Природа, 2006. – 156 с.
6. Савич-Шемет, О. Г. Многолетние и современные изменения стока рек Оршанского артезианского бассейна в условиях изменяющегося климата / О. Г. Савич-Шемет, Ю. П. Анцух, Е. В. Гапанович, Н. М. Томина // Водные ресурсы и климат : материалы V Междунар. водного форума, Минск, 5–6 окт. 2017 г. / Белорус. гос. технолог. ун-т. – Минск, 2017. – Ч. 1. – С. 114–120.
7. Белецкий, С. С. Опыт оценки подземного стока в реки БССР / С. С. Белецкий // Вопросы гидрогеологии и инженерной геологии : сб. науч. тр. / Белорус. науч.-исслед. геологоразведоч. ин-т ; науч. ред. А. П. Лавров. – Минск, 1974. – С. 60–75.
8. Дрозд, В. В. Водные ресурсы Беларусь: методология, структура, оценка, прогноз / В. В. Дрозд. – Минск : Ковчег, 2010. – 202 с.

References

1. Mahnach A. S., Garetskiy R. G., Matveev A. V. *Geologiya Belarusi* [Geology of Belarus]. Minsk, 2001, 815 p.
2. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Opisanie rek i ozyor. *Belorussiya i Verhnee Podneprov'e* [Surface water resources of the USSR. Description of rivers and lakes. Belarus and the Upper Dnieper]. Vol. 5, part I. Leningrad, 1971, 1107 p.
3. Kudelskiy A. V., Pashkevich V. I. *Podzemnye vodyi Belarusi (resursyi, kachestvo, ispolzovanie)* [Groundwater of Belarus (resources, quality, use)]. *Prirodnye resursy = Nature resources*, 1999, no. 1, pp. 48–58.
4. Sovremennoe sostoyanie podzemnyih istochnikov pitevogo vodosnabzheniya basseyna Dnepra. Pod obschey redaktsiei L. S. Yazvina, V. M. Shestakova, M. M. Cherepanskogo [The modern state of underground drinking water sources of the Dnipro basin]. Minsk, 2004, 87 p.
5. *Regionalnye otsenki sokrascheniya rechnogo stoka pri otbore podzemnyih vod* [Regional estimates of the reduction in river flow during groundwater extraction]. Moscow, 2006, 156 p.
6. Savich-Shemet O. G., Antsuh Yu. P., Gapanovich E. V., Tomina N. M. *Mnogoletnie i sovremennye izmeneniya stoka rek Orshanskogo artezianskogo basseyna v usloviyah izmenyayuscheshego klimata* [Long-term and recent changes in river flow Orsha artesian basin in a changing climate]. Materialy V Mezhdunarodnogo vodnogo foruma "Vodnye resursy i klimat" [Proc. V Int. water forum "Water resources and climate"]. Minsk, 2017, part 1, pp. 114–120.
7. Beletskiy S. S. *Opyt otsenki podzemnogo stoka v reki BSSR* [Experience in the assessment of groundwater flow into the rivers of the BSSR]. *Trudy BelNIGRI "Voprosy gidrogeologii i inzhenernoy geologii"* [Proc. "Questions of hydrogeology and engineering geology"], Minsk, 1974, pp. 60–75.
8. Drozd, V.V. *Vodnye resursy Belarusi: metodologiya, struktura, otsenka, prognoz* [Water resources of Belarus: methodology, structure, evaluation, forecast]. Minsk, 2010, 202 p.

Информация об авторах

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

Черепанский Михаил Михайлович – д-р геол.-мин. наук, профессор, зав. кафедрой гидрогеологии, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (ул. Миклухо-Маклая, 23, 117485, Москва, Россия). E-mail: vodamch@mail.ru

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, Republic of Belarus). E-mail: savichoks@yandex.ru

Mikhail M. Cherepanskii – D. Sc. (Mineralogy), Professor, Head of Chair of Hydrogeology, Russian State Geological Prospecting University after Sergo Ordzhonikidze (23, Miklukha-Makly str, 11785, Moscow, Russia). E-mail: vodamch@mail.ru

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ТОРФА

Н. Г. Аверина¹, Н. В. Козел¹, В. А. Ракович²,
О. В. Серебренникова³, Е. Б. Стрельникова³

¹Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларусь, Минск, Беларусь;

²Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь;

³Институт химии нефти СО РАН, Томск, Россия

Аннотация Проведен отбор образцов торфа из залежей низинного и верхового типа естественной и восстановляемой экосистем. Результаты исследования показали, что обводнение залежей восстанавливаемых экосистем, проводившееся в течение последних 5–10 лет, приблизило их общетехнические характеристики к показателям, обнаруженным в образцах из естественных болотных массивов. В исследованных образцах торфа обнаружены порфириновые пигменты как растительного (феофитины *a* и *b*, феофорбид *a*), так и бактериального происхождения (бактериофеофитин *a*). Выявлена зависимость в содержании тетрапирролов в торфе, как от глубины его залегания, так и от состояния экосистемы. Показано значительное преобладание содержания порфиринов в образцах торфа низинного типа травяной группы, а также в образцах торфа верхового типа моховой группы восстанавливаемых болотных экосистем по сравнению с естественными. Обнаружены различия в содержании стероидных и терпеноидных соединений как между верховыми и низинными торфами восстанавливаемых и естественных экосистем, так и различными группами торфа. Выявлена общая закономерность – верховые торфяники содержали значительно большие количества всех видов стероидов и терпеноидов по сравнению с низинным торфом. В верховом торфе как травяной, так и моховой групп содержание всех типов токоферолов в образцах месторождений восстанавливаемой экосистемы оказывалось более высоким по сравнению с их содержанием в образцах торфов естественной экосистемы. Отмечена более низкая степень разложения растительных остатков в образцах торфа из Западной Сибири и, соответственно, более высокое содержание в них летучих органических соединений и тетрапирролов. Сделан вывод, что более суровые климатические условия со среднегодовой температурой в Западной Сибири ($-1,6^{\circ}\text{C}$), более поздние сроки оттаивания и сброса талых вод в этом регионе обуславливают малую скорость происходящих в торфяной залежи окислительных процессов и большую сохранность органического вещества по сравнению с торфом Беларусь.

Ключевые слова: торф; зольность; влажность; кислотность; степень разложения; порфирины; каротиноиды; стероиды; терпеноиды; токоферолы.

Для цитирования. Аверина Н. Г., Козел Н. В., Ракович В. А., Серебренникова О. В., Стрельникова Е. Б. Влияние условий формирования болотных экосистем на химический состав органических соединений торфа // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 162–175.

INFLUENCE OF THE CONDITIONS OF BOG ECOSYSTEM FORMATION ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF ORGANIC PEAT COMPOUNDS

N. G. Averina¹, N. V. Kozel¹, V. A. Rakovich²,
O. V. Serebrennikova³, E. B. Strelnikova³

¹Institute of Biophysics and Cell Engineering of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus;

²Institute for Nature Management of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus;

³Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia

Abstract. Peat samples from lowland and upland type deposits of natural and restored ecosystems were carried out. The results of the research showed that watering the reservoirs of restored ecosystems, conducted during the last 5–10 years, brought their general technical characteristics closer to those found in the bogs of natural samples. Porphyrin pigments both plant (pheophytins *a* and *b*, pheophorbide *a*), and bacterial origin (bacteriopheophytin *a*) have been found in studied peat samples. The dependence in the content of tetrapyrroles in peat on the depth of its occurrence and on the state of the ecosystem has been revealed. A significant increase in the content of porphyrins in samples of peat of the lowland type of the herbaceous group was shown, as well as in upland peat samples of the moss group of the restored wetland ecosystems in comparison with the natural ones. Differences in the content of steroid and terpenoid compounds between the upper and lower peats of the restored and natural ecosystems were found as well as between vari-

ous groups of peat. A general pattern was revealed – the upper peat bogs contained significantly larger amounts of all types of steroids and terpenoids compared to lowland peat. In the upland peat of both herbaceous and moss groups, the content of all types of tocopherols in the samples of the restored ecosystem proved to be higher in comparison with their content in the peat samples of the natural ecosystem. A lower degree of decomposition and accordingly a higher content of volatile organic compounds and tetrapyrroles has been noted for peat samples from Western Siberia. It is concluded that the harsher climatic conditions with the average annual temperature in Western Siberia (-1.6°C), the later periods of thawing and dumping of thawed waters in this region cause a low rate of oxidation processes occurring in the peat deposit and a greater safety of organic matter than in peat of Belarus.

Key words: peat; ash content; humidity; acidity; degree of decomposition; porphyrins; carotenoids; steroids; terpenoids; tocopherols.

For citation. Averina N. G., Kozel N. V., Rakovich V. A., Serebrennikova O. V., Strelnikova E. B. Influence of the conditions of bog ecosystem formation on the chemical composition of organic peat compounds. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 162–175.

Введение. Болотные экосистемы играют важную роль в процессах связывания углерода и регенерации кислорода, поддержания водного баланса, а также сохранения биологического разнообразия [1]. Кроме этого, болота являются источником многих незаменимых ресурсов, часть которых сконцентрирована в органических отложениях, накапливаемых в виде торфа. Торф является ценнейшим природным биологическим материалом и важнейшим минерально-сырьевым ресурсом. Он широко используется в сельском хозяйстве и животноводстве, медицине, энергетике и ряде других областей промышленности [2]. Оценка функционального состояния торфяных месторождений является актуальной проблемой современного природопользования.

В предыдущем нашем исследовании болотных экосистем Беларуси и Западной Сибири выявлен ряд специфических химических индикаторов, характеризующих функциональное состояние торфяных залежей, а также установлены существенные различия как в качественном, так и в количественном составе органического вещества торфа этих двух регионов [3]. Высказано предположение, что выявленные различия определяются не только генезисом торфов, но и разными местными климатическими условиями. С этой точки зрения генетически идентичные виды торфа древесной, травяной и моховой групп Беларуси и Западной Сибири являются идеальной природной моделью для изучения влияния разных климатических условий на процессы формирования химических соединений в торфяных залежах естественных и восстанавливаемых болотных экосистем, что может лечь в основу прогнозирования их развития и использования.

Работы по изучению химического состава торфа ведутся в Стокгольмском Университете (Швеция), Глостерширском и Бристольском Университетах (Англия), Университете Сан-Паулу (Бразилия), в Чаньчуньском институте болот и торфа в Китае, в Мюнхебергском центре в Германии. Целью их преимущественно является разработка параметров, позволяющих реконструировать изменение палеоклимата, в частности его влажности. Наиболее подробно изучен состав *n*-алканов. На основе концентраций отдельных представителей этих соединений проводится расчет различных показателей, позволяющих оценить влияние климатических условий на торфообразование [4–6]. Работа [7], посвященная исследованию распределения и содержания в торфе Арктики алканов, алкан-2-онов, спиртов и жирных кислот нормального строения, показала возможность использования для палеоклиматических реконструкций и этих групп органических соединений. Данные об индивидуальном составе некоторых производных биомолекул в битуминозных компонентах торфа ряда месторождений Китая и Испании, приведенные в работах [8, 9] продемонстрировали различия в их химическом составе, что также может быть следствием влияния климата на процесс формирования состава торфа. Тем не менее сведения по отдельным природно-климатическим зонам получены зачастую отличающимися методиками, поэтому их анализ и интерпретация для определения влияния климатических различий затруднена. При этом многие классы соединений в таких исследованиях вообще не рассматриваются. Специальных исследований по сравнительной характеристике молекулярного состава органических соединений в торфе различных климатических зон не проводилось. Этот пробел может быть восполнен за счет детального, выполненного по единой методике изучения химического состава торфов Западной Сибири и Беларуси, формирование которых проходило в разных климатических условиях.

Цель данной работы – выявить различия в составе и содержании углерода, азота, а также ряда органических веществ, таких как тетрапирроллы, каротиноиды, физиологически активные и другие соединения в торфе естественных и восстанавливаемых болотных экосистем Беларуси, а также исследовать влияние разных климатических условий Беларуси и Западной Сибири на интенсивность и глубину химических преобразований органического вещества в процессах торфообразования.

Объекты и методы исследования. В работе были использованы образцы торфа низинного типа из трех торфяных месторождений Беларуси: Стубла (кадастровый номер № 112, восстанавливаемая и естественная части болотной экосистемы, древесная группа, вид торфа ольховый), Хольче

(кадастровый номер № 417, естественная часть болотной экосистемы, травяная группа, вид торфа тростниковый) и Гричино-Старобинское (кадастровый номер № 1186, восстанавливаемая часть болотной экосистемы, травяная группа, вид торфа тростниковый), а также образцы торфа верхового типа из месторождения Туршовка–Чертово (кадастровый номер № 402, восстанавливаемая и естественная части болотной экосистемы, травяная группа, вид торфа пушицевый) и месторождения Докудовское (кадастровый номер № 198, восстанавливаемая и естественная части болотной экосистемы, моховая группа, вид торфа фускум). Образцы торфа были отобраны на глубине 0,0–0,2 и 0,2–0,4 м. Для исследования влияния разных климатических условий Беларуси и Западной Сибири на интенсивность и глубину химических преобразований органического вещества в процессах торфообразования сравнительный анализ торфа естественных экосистем Беларуси и Западной Сибири проводили на образцах Н-151 и Н-152, взятых из участков верхового болота Червеньское (Галое), расположенного в Минской области (Беларусь), и из участков верхового болота Темное юга Томской области (Западная Сибирь) – образец Н-6. Образующими растениями обоих типов месторождений являются сфагновые мхи – *Sphagnum fuscum* и *Sphagnum magellanicum*.

Образцы отбирали в пункте отбора проб послойно из одной или нескольких скважин, которые располагались в радиусе не более 10 м от места отбора первой пробы. Отбор образцов торфа производили полуметровым членком торфоотборочного бура ТБГ-66, не нарушающим структуру торфа. Образцы отбирали от поверхности торфяной залежи послойно через 0,2 м и упаковывали в отдельные полиэтиленовые пакеты. Масса отобранный пробы была не менее 0,4 кг. Перед погружением бура в залежь для отбора следующей пробы членок тщательно очищали. В одной скважине с каждой глубины пробу отбирали только один раз. При отборе проб вели полевой журнал, в котором фиксировали место отбора, номер пробы, глубину отбора, на какой анализ отбиралась пробы и полевые оценки вида, типа и степени разложения торфа.

Название вида торфа давали по процентному соотношению растительных остатков [10]. Общая площадь, занятая остатками, видимыми под микроскопом, принималась за 100 % (пустоты не учитывались). Процентное содержание отдельных растений определяли глазомерно с округлением до 5 %. Если определенный вид растительных остатков занимал площадь менее 5 %, то он отмечался как единичный и не влиял на суммарную площадь всех растений. При анализе одной и той же пробы торфа путем перемещения покровного стекла просматривали до 10 полей. Для определения ботанического состава использовали атласы-определители остатков растений-торфообразователей [11], а также ГОСТ 21123-85 [10].

Определение степени разложения торфа в образцах, взятых из неосушенных залежей, осуществляли микроскопическим методом Варлыгина, используя ГОСТ 10650-72 [12]. Показатель степени разложения торфа вычисляли как среднеарифметическое просмотренных 30 полей.

Для определения зольности использовали типовой метод по ГОСТ 11306-83 [13]. Навеску торфа сжигали в муфельной печи при температуре 800 ± 25 °C и зольный остаток прокаливали до постоянного веса при той же температуре. Все взвешивания проводили на аналитических весах с точностью до 0,002 г. Результаты анализов каждого из двух параллельных определений зольности рассчитывали до сотых долей, а окончательный результат – среднее арифметическое из двух параллельных определений – округляли до десятых долей процента.

Обменную кислотность торфа определяли электрометрическим методом [14]. Навеску 20–30 см³ помещали в стеклянный стакан и заливали 1 н. KCl с pH 5,6–6,0 в отношении 2,5 объема к взятому объему торфа. Суспензию перемешивали и оставляли на 4–5 ч. Затем производили измерения pH при помощи pH-метра. Окончательные результаты округляли до десятых долей числа.

Определение общего азота осуществляли по методу Кильдаля (ГОСТ 26715-85) [15]. Метод основан на разложении органических веществ почвы концентрированной серной кислотой в присутствии перекиси водорода или смешанного катализатора, с последующей отгонкой аммиака в раствор серной кислоты и титровании щелочью. Навеску помещали в колбу Кильдаля, добавляли 20 см³ концентрированной серной кислоты, 3 см³ раствора перекиси водорода массовой долей 30 % и помещали колбу в вытяжной шкаф на колбонагреватель. Сжигание заканчивали, когда охлажденный раствор над минеральным остатком почвы сделался совсем бесцветным. Охлажденный раствор осторожно смывали в мерную колбу на 250 мл и доводили до метки. В реакционную колбу установки для отгонки аммиака помещали 100 см³ анализируемого раствора. В приемник помещали 20 см³ 0,1 н. раствора серной кислоты и прибавляли 3–5 капель смешанного индикатора. Приемник представляли под холодильник так, чтобы барботер был полностью погружен в раствор. В реакционную колбу добавляли 2–3 кусочка гранулированного цинка и осторожно приливали 40 см³ раствора гидраты окиси натрия массовой долей 40 %. Колбу закрывали пробкой с каплеуловителем, энергично перемешивали содержимое и начинали нагрев реакционной колбы. Доводя раствор до кипения, нагрев регулировали так, чтобы кипение было спокойным. Отгонку вели до тех пор, пока не перегонится $\frac{2}{3}$

объема жидкости. Полноту отгонки контролировали пробой конденсата с реагентом Несслера. При отсутствии аммиака не должна появляться желтая окраска реактива Несслера. После окончания отгонки приемник отсоединяли, барботер обмывали дистиллированной водой, собирая промывные воды в приемник, и содержимое приемника титровали 0,1 н. раствором гидроксида натрия до перехода малиновой окраски в зеленую. Одновременно проводили контрольный опыт через все стадии анализа в тех же условиях и с тем же количеством реагентов, но без анализируемой почвы для внесения поправки в результат анализа, с целью учета содержания примесей аммония в реактивах.

Определение содержания углерода в почве проводили методом Тюрина (ГОСТ 26213-84, ГОСТ 26213-91) [16]. Абсолютно сухую навеску в 0,1–0,2 г помещали в колбу на 100 мл и заливали 20 мл окислительной смеси (0,4 н. раствор двухромовокислого калия $K_2Cr_2O_7$, приготовленного на разведенной в соотношении 1:1 H_2SO_4). Содержимое колбы осторожно перемешивали и нагревали в течение 20 мин в сушильном шкафу, предварительно нагретом до 150–160 °C. Одновременно ставили «холостую пробу» с 20 мл окислительной смеси. После сжигания содержимое колб охлаждали, переносили в мерные колбы на 100 мл и давали отстояться примерно в течение суток. Раствор над осадком осторожно отбирали пипеткой и измеряли его оптическую плотность на фотоколориметре при $\lambda = 590$ нм. Для сравнения в качестве оптического нуля использовали раствор «холостой пробы». Содержание углерода находили по калибровочному графику. Для его построения брали раствор 2,5 г/л глюкозы. В колбы отбирали 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 15,0; 20,0 мл раствора, выпаривали на водяной бане досуха и сжигали аналогично опытным образцам. По найденным значениям оптических плотностей и известному содержанию углерода строили калибровочный график.

Качественную и количественную оценку содержания порфиринов и каротиноидов в образцах торфа, а также в листьях растений ячменя проводили с помощью жидкостного хроматографа высокого давления Shimadzu Prominence LC 20 (Япония) с хроматографической колонкой Nucleodur C18 Gravity (тип C18, размер частиц 3 мкм, длина 15 см) фирмы Macherey-Nagel (Германия). В основу метода выделения, разделения и идентификации порфириновых пигментов хлорофильной природы, а также каротиноидов были положены методики, описанные в работах [17–19]. Они были модифицированы в приложении к образцам торфяного происхождения согласно работе [3]. Для экстракции пигментов сухие образцы торфа размельчали до порошкообразного состояния, после чего многократно промывали ацетоном. Степень вымывания пигментов контролировали по спектрам поглощения на спектрофотометре Uvikon 931 фирмы Kontron (Германия). Затем ацетоновый экстракт упаривали до определенного объема. Далее в виалы для хроматографии вносили по 0,5 мл ацетонового экстракта и помещали в камеру хроматографа. Объем инъекции составлял 50 мкл. Разделение пигментов в колонке производили с использованием растворов А (90 %-ный ацетонитрил, 9,9%-ный H_2O , 0,1%-ный триэтиламин) и В (100%-ный этилацетат) с потоком 0,5 мл/мин. Пигменты регистрировали спектрофотометрическим детектором с диодной матрицей Shimadzu SPD-M20A (Япония) в диапазоне 200–800 нм. Для визуализации профиля хроматограммы выделяли спектр поглощения при 410 нм. Для количественного определения пигментов использовали площади пиков хроматограммы. Для более точной идентификации растительных пигментов регистрировали флуоресценцию разделенных веществ флуориметрическим детектором Shimadzu DGU-20A (Япония) при длине волны регистрации 670 нм (длина волны возбуждающего света – 410 нм).

Анализ состава стероидов и терпеноидов торфа определяли с помощью хромато-массспектрометра (ХМС) высокого разрешения ThermoScientific DFS (Thermo Fisher Scientific, Германия). Содержание отдельных структур определяли по площади соответствующих максимумов на хроматограммах с использованием внутреннего стандарта и поправочных коэффициентов, определенных для каждого класса соединений [3].

Результаты и их обсуждение.

Оценка ботанического состава образцов торфа, степени его разложения, влажности, зольности, кислотности, содержания углерода и азота.

В первой части работы мы провели исследование влияния состояния болотной экосистемы на общетехнические характеристики торфа (степень его разложения, влажность, зольность, кислотность), а также на содержание в торфе углерода, азота и таких органических соединений, как порфирины, каротиноиды, терпеноиды, стероиды и токоферолы. Для проведения исследований были отобраны образцы торфа низинного типа древесной и травяной групп, а также верхового типа травяной и моховой групп естественной и восстанавливаемой болотных экосистем Беларуси. Образцы торфа были отобраны на глубине 0,0–0,2 и 0,2–0,4 м.

В табл. 1 представлены технические характеристики торфа (ботанический состав или вид торфа, степень разложения, влажность, зольность, кислотность), отобранного с площадок наблюдений в 2015 г., а также содержание в исследуемых образцах торфа углерода и азота. Результаты исследования показали, что обводнение залежей восстанавливаемых экосистем, проводившееся в течение

последних 5–10 лет, приблизило их общетехнические характеристики к показателям, обнаруженным в образцах из естественных болотных массивов. Так, степень разложения торфа из двух восстанавливаемых залежей (№ 1186 и № 112) – 30 и 40 % была близка к аналогичным характеристикам образцов из естественных залежей (№ 417 и № 112) – 35 и 40 %; содержание влаги – 88 и 87 % практически не отличалось от 86 и 87,5 % для естественных участков, показатели зольности 8,4 и 12,1 % (восстанавливаемые залежи) были близки к 12,5 и 10,9 % для естественных участков болотной экосистемы, величины рН 6,2 и 5,9 также мало отличались от величин 5,8 и 5,8 для участков естественных болотных экосистем.

Таблица 1. Содержание углерода, азота и технические характеристики торфа, отобранного с торфяных месторождений Гричино–Старобинское, Хольче, Стубла Туршовка–Чертово и Докудовское

Table 1. The content of carbon, nitrogen and technical characteristics of peat, taken from peat deposits of Grichino–Starobin, Holche, Stubla, Turshovka–Chertovo and Dokudovskoe

Глубина отбора проб, м	Группа и вид торфа	Степень разложения торфа, %	Влага, %	Зольность, %	Кислотность, рН в KCl	Углерод, % от органической массы	Азот, % от органической массы
<i>Низинный торф. Т. м. Гричино–Старобинское (кадастровый номер № 1186, восстанавливаемая часть болотной экосистемы)</i>							
0,0–0,2	Травяная. Тростниковый	25–30	87	8,5	6,3	57,4	2,6
0,2–0,4	Травяная. Тростниковый	30	89	8,3	6,1	57,6	2,7
<i>Низинный торф. Т. м. Хольче (кадастровый номер № 417, естественная часть болотной экосистемы)</i>							
0,0–0,2	Травяная. Тростниковый	35	84	13,6	5,9	57,8	2,8
0,2–0,4	Травяная. Тростниковый	35	87	11,4	5,7	57,9	2,9
<i>Низинный торф. Т. м. Стубла (кадастровый номер № 112, восстанавливаемая часть болотной экосистемы)</i>							
0,0–0,2	Древесная. Ольховый	40	86	12,6	6,0	58,1	2,8
0,2–0,4	Древесная. Ольховый	40	88	11,7	5,9	57,7	3,1
<i>Низинный торф. Т. м. Стубла (кадастровый номер № 112, естественная часть болотной экосистемы)</i>							
0,0–0,2	Древесная. Ольховый	40	87	11,1	5,7	58,3	2,7
0,2–0,4	Древесная. Ольховый	40	88	10,8	5,9	58,2	3,0
<i>Верховой торф. Т. м. Туршовка–Чертово (кадастровый номер № 402, восстанавливаемая часть болотной экосистемы)</i>							
0,0–0,2	Травяная. Пушицевый	40	89	2,1	3,3	59,1	1,7
0,2–0,4	Травяная. Пушицевый	40	88	2,5	3,4	58,9	1,9
<i>Верховой торф. Т. м. Туршовка–Чертово (кадастровый номер № 402, естественная часть болотной экосистемы)</i>							
0,0–0,2	Травяная. Пушицевый	35	90	2,4	3,1	58,6	1,5
0,2–0,4	Травяная. Пушицевый	35	91	2,2	3,2	58,2	1,6
<i>Верховой торф. Т. м. Докудовское (кадастровый номер № 198, восстанавливаемая часть болотной экосистемы)</i>							
0,0–0,2	Моховая, Фускум-торф	10–15	90	2,3	3,6	52,4	0,9
0,2–0,4	Моховая, Фускум-торф	10–15	91	2,6	3,4	52,8	1,3
<i>Верховой торф. Т. м. Докудовское (кадастровый номер № 198, естественная часть болотной экосистемы)</i>							
0,0–0,2	Моховая, Фускум-торф	20	93	2,2	3,6	54,6	1,4
0,2–0,4	Моховая, Фускум-торф	15–20	94	2,0	3,4	53,4	1,3

Примечание. Т. м. – торфяное месторождение.

Как видно из таблицы, все образцы торфа по углероду и азоту соответствуют показателям, характерным для болот низинного типа древесной и травяной групп и болот верхового типа травяной и моховой групп. Отметим, что в древесной группе содержание углерода и азота было больше, чем в травяной группе, а в травяной группе содержание углерода и азота было больше, чем в моховой группе.

Из таблицы также следует, что количественные показатели среднего содержания углерода в образцах торфа низинного типа составили: для древесной группы – 57,7–58,3 % и азота – 2,7–3,1, травяной – 57,4–57,9 и 2,6–2,9 % соответственно. Для образцов торфа из Российской Федерации, представленных в монографии [14], эти данные близки по значению и составляют в среднем для углерода древесной группы низинного типа – 58,4 %, травяной – 57,8 и азота травяной группы – 2,7, моховой – 2,7 % соответственно. Также установлено, что количественные показатели среднего содержания углерода в образцах торфа верхового типа составили: для травяной группы – 58,2–59,1 % и азота – 1,5–1,9, моховой – 52,4–54,6 и 0,9–1,4 % соответственно. Отметим, что для образцов торфа из Российской Федерации, представленных в монографии И. И. Лиштвана и Н. Т. Короля [14], эти данные близки по значению и составляют в среднем для углерода травяной группы верхового типа – 58,6 %, моховой – 53,9 и азота травяной группы – 1,8, моховой – 1,4 % соответственно.

Таким образом, содержание углерода и азота зависят от типа торфа и его ботанического состава. Оно увеличивается от моховой к травяной и далее к древесной группам.

Оценка содержания тетрапирролов и каротиноидов в образцах торфа из залежей низинного типа древесной и травяной групп, а также из залежей верхового типа травяной и моховой групп естественной и восстанавливаемой экосистем Беларуси.

С помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) была проведена качественная и количественная оценка содержания порфириновых пигментов, а также каротиноидов в образцах торфа низинного и верхового типа естественной и восстанавливаемой части болотных экосистем Беларуси.

В исследованных образцах торфа низинного типа древесной и травяной групп обнаружены порфириновые пигменты как растительного (феофитины *a* и *b*, феофорбид *a*), так и бактериального происхождения (бактериофеофитин *a*). Магнийсодержащие хлорофилловые пигменты и каротиноиды в пробах отсутствуют. Для всех образцов характерны существенные отличия в качественном и количественном составе пигментов. В травяной группе (тростниковый торф) наибольшее суммарное количество пигментов отмечено в торфе восстанавливаемой экосистемы. Так, содержание бактериофеофитина *a*, феофитина *a*, феофитина *b* и феофорбигда *a* в восстанавливаемом и естественном месторождениях оказалось следующим: 13,6 и 2,6; 11,6 и 1,1; 4,1 и 0,3 и наконец 6,4 и 0,6 соответственно. При этом в естественном месторождении в верхнем слое залегания пигментов, как правило, оказывалось больше, чем в глубинных слоях. Такая же картина отмечена и для образцов торфа восстанавливаемой экосистемы, за исключением бактериофеофитина *a*, содержание которого было в 14 раз выше в верхнем 0,0–0,2-метровом слое, по сравнению с его содержанием в 0,2–0,4-метровом слое. Другая картина распределения пигментов отмечена в торфе древесной группы (ольховый вид). Максимальные количества феофитиновых пигментов обнаружены в торфе естественного месторождения. В торфе восстанавливаемой экосистемы содержание пигментов незначительно (в 1,2–2,3 раза) выше в более глубинных слоях залегания. Содержание бактериофеофитина *a* в образцах торфа естественной экосистемы также было в 3,8 раза выше в 0,2–0,4 м слое по сравнению с 0,0–0,2 м слоем (табл. 2).

В образцах торфа из верховой залежи обнаружены порфириновые пигменты как растительного (феофитин *a* и феофорбид *a*), так и бактериального происхождения (бактериофеофитин *a*). Для всех образцов характерны существенные отличия в качественном и количественном составе пигментов (см. табл. 2). В травяной группе, как в образцах восстанавливаемых торфов, так и в образцах из естественных месторождений магнийсодержащие хлорофилловые пигменты не обнаружены, все они феофитинизированы до феофитина *a*, феофорбигда *a* и бактериофеофитина *a*. Хлорофилловые пигменты группы *b* также не обнаружены. В травяной группе (пушицевый торф) наибольшее суммарное количество пигментов отмечено в торфе естественных месторождений (от 18 до 29 мкг/г сухой массы). В 2,0 раза меньшее суммарное количество порфиринов (14 мкг/г сухой массы) отмечено в торфе восстанавливаемой экосистемы. Интересно, что в верхних слоях торфяника восстанавливаемой экосистемы (0,0–0,2 м залегания) не обнаружено никаких пигментов кроме небольшого количества феофитина *a* (3,9 мкг/г сухой массы). В более глубинных слоях (0,2–0,4 м) идентифицированы существенные количества бактериофеофитина *a* (7,9 мкг/г сухой массы), феофитина *a* (5,1 мкг) и феофорбигда *a* (1,1 мкг/г сухой массы). Другой характер распределения пигментов отмечен в моховой группе фускумторфа. Так, максимальное количество пигментов обнаружено в торфе восстанавливаемой экосистемы (от 40,0 до 65,1 мкг/г сухой массы), в отличие от 2,7–5,6 мкг/г сухой массы в образцах естественных месторождений. Эти различия не зависят от глубины залегания торфа. Хлорофилл *a* обнаружен только в торфе естественных месторождений моховой группы (1,1–2,3 мкг/г сухой массы).

Таблица 2. Содержание тетрапирролов хлорофильной природы в образцах торфа из залежей низинного типа древесной и травяной групп, а также из залежей верхового типа травяной и моховой групп естественной и восстанавливаемой экосистем Беларуси

Table 2. The content of tetrapyrroles of chlorophyll nature in peat samples from low-lying deposits of woody and herbaceous groups, as well as from the deposits of the upper type of herbaceous and moss groups of natural and restored ecosystems in Belarus

Месторождение. Группа. Вид. Состояние экосистемы	Глубина отбора проб, м	Бактерио- феофитин а	Феофитин		Феофорбид а	Хлоро- филл а	Сумма пигментов					
			a	b								
мкг/г сухой массы												
<i>Низинный торф</i>												
Стубла. Древесная. Ольховый. Есте- ственная	0,0–0,2	6,8	14,2	н. о.	0,4	н. о.	21,4					
	0,2–0,4	25,4	8,9	н. о.	2,9	н. о.	37,2					
Стубла. Древесная. Ольховый. Восста- навливаемая	0,0–0,2	н. о.	2,6	0,9	0,4	н. о.	3,9					
	0,2–0,4	н. о.	3,1	1,1	1,0	н. о.	5,2					
Гричино- Старобинское. Тра- вяная. Тростнико- вой. Восстанавли- ваемая	0,0–0,2	12,7	4,5	1,2	3,8	н. о.	22,2					
	0,2–0,4	0,9	7,1	2,9	2,6	н. о.	13,5					
Хольче. Травяная. Тростниковый. Естественная	0,0–0,2	н. о.	0,3	0,1	0,1	н. о.	0,5					
	0,2–0,4	2,6	0,9	0,2	0,5	н. о.	4,2					
<i>Верховой торф</i>												
Туршовка–Чертово. Травяная. Пушице- вый. Восстанавли- ваемая	0,0–0,2	н. о.	3,9	н. о.	н. о.	н. о.	3,9					
	0,2–0,4	7,9	5,1	н. о.	1,1	н. о.	14,1					
Туршовка–Чертово. Травяная. Пушице- вый. Естественная	0,0–0,2	20,5	7,0	н. о.	1,8	н. о.	29,3					
	0,2–0,4	11,5	4,1	н. о.	1,6	н. о.	17,2					
Докудовское. Мохо- вая. Фускум-торф. Восстанавливаемая	0,0–0,2	30,4	6,3	н. о.	3,3	н. о.	40,0					
	0,2–0,4	32,9	19,7	н. о.	12,5	н. о.	65,1					
Докудовское. Мохо- вая. Фускум-торф. Естественная	0,0–0,2	н. о.	2,0	н. о.	1,3	2,3	5,6					
	0,2–0,4	н. о.	1,2	н. о.	0,4	1,1	2,7					

Примечание: н. о. – не обнаружены.

Таким образом, выявлены особенности в содержании порфириновых пигментов в торфе. Показано существенное увеличение содержания порфиринов в образцах торфа низинного типа травяной группы, а также в образцах торфа верхового типа моховой группы восстанавливаемых болотных экосистем по сравнению с естественными. Отмечена зависимость химического состава торфа как от глубины залегания, так и от состояния экосистемы.

Оценка содержания терпеноидов и стероидов в образцах торфа из залежей низинного типа древесной и травяной групп, а также из залежей верхового типа травяной и моховой групп естественной и восстанавливаемой экосистем Беларуси.

В данном цикле работ были использованы образцы торфа из залежей верхового типа травяной и моховой групп восстанавливаемой и естественной экосистем Беларуси, а также из залежей низинного типа древесной и травяной групп восстанавливаемой и естественной экосистем. Анализ состава органических соединений торфа определяли с помощью хромато-масс-спектрометра (ХМС) высокого разрешения ThermoScientific DFS (Thermo Fisher Scientific, Германия).

Проведенный нами анализ показал, что как в верховых, так и в низинных торфах содержание предшественника стеролов в биосинтезе – сквалена, в восстановленных торфяниках оказалось гораздо более высоким по сравнению с торфами естественной экосистемы (табл. 3). Так, в верховом торфе травяной (пушицевый) и моховой (фускум) групп восстановленных месторождений содержание сквалена превышало его содержание в естественных залежах в 2,5 и 3,2 раза соответственно, а в образцах низинного торфа восстанавливаемой экосистемы древесной группы – в 4,5 раза по отношению к естественной экосистеме. В образцах низинного торфа травяной группы ни в естественных, ни в восстанавливаемых месторождениях сквален не детектировался.

Таблица 3. Содержание терпеноидов и стероидов в образцах торфа из залежей низинного типа древесной и травяной групп, а также из залежей верхового типа травяной и моховой групп естественной и восстановляемой экосистем Беларуси

Table 3. Content of terpenoids and steroids in peat samples from the low-lying deposits of woody and herbaceous groups, and also from the deposits of the upper type of herbaceous and moss groups of the natural and restored ecosystems of Belarus

Соединение, мкг/г сухой массы	Образец торфа	Верховой торф				Низинный торф			
		пушицевый		фускум		ольховый		тростниковый	
		Восстанавливающаяся	Естественная	Восстанавливающаяся	Естественная	Восстанавливающаяся	Естественная	Восстанавливающаяся	Естественная
Сескви-терпеноиды	УВ	4,37	13,05	3,43	0,76	0,51	1,50	0,39	0,20
	КОС	0,37	1,12	н. о.	0,01	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.
	Сумма	4,74	14,17	3,43	0,77	0,51	1,50	0,39	0,20
Дитерпеноиды	УВ	4,29	98,95	1,90	0,35	0,43	0,43	0,11	0,03
	КОС	30,22	10,54	0,02	0,47	0,75	0,12	0,01	н. о.
	Сумма	34,51	109,5	1,92	0,83	1,18	0,55	0,12	0,03
Тriterпеноиды	Сквален	1,96	0,77	2,93	0,91	0,61	0,13	н. о.	н. о.
	Пентациклические, производные циклопентанопергидропхизена	15,27	9,81	15,37	8,53	1,64	9,30	0,42	0,70
	Пентациклические, производные пергидропиперина	39,46	2,88	38,45	27,85	2,63	24,87	0,57	0,37
	Сумма пентациклических	54,73	12,69	53,81	36,38	4,27	34,17	0,99	1,07
	Сумма	56,69	13,46	56,74	37,29	4,88	34,30	0,99	1,07
Стериоиды		20,44	33,29	8,74	4,04	1,23	2,83	1,32	1,00

Примечание. УВ – углеводороды; КОС – кислородорганические соединения; н. о. – не обнаружены.

Суммарное содержание тритерпеноидов также было выше в восстановляемых экосистемах верхового типа – 56,69 (травяная группа) и 56,74 мкг/г сухой массы (моховая группа) по сравнению с естественными торфяниками – 13,46 и 37,29 мкг/г сухой массы соответственно. В то же время в низинных залежах древесной и травяной групп большее количество тритерпеноидов отмечено в естественных месторождениях по сравнению с восстановляемыми торфяниками – 34,30 и 1,07 мкг/г сухой массы по сравнению с 4,88 и 0,99 мкг/г сухой массы соответственно. Одним из самых распространенных растительных фикостеролов является β -ситостерол, обладающий высокой биологической активностью и применяемый в медицине для снижения уровня холестерина в крови. Этот стерин был обнаружен только в верховом торфе (0,08–3,04 мкг/г сухой массы).

Следует отметить общую закономерность – верховые торфяники содержали значительно большие количества всех видов стероидов и терпеноидов по сравнению с залежами низинного типа. Так, на примере суммарного содержания стероидов видно, что их количество в верховом торфе составило 20,44 и 33,29 мкг/г сухой массы (травяная группа), 8,74 и 4,04 мкг/г сухой массы (моховая группа) в отличие от 1,23; 2,83, 1,32 и 1,00 мкг/г сухой массы в низинном торфе соответственно (табл. 3). Такая же картина наблюдается и для сесквитерпенов, дитерпеноидов и тритерпеноидов. Их содержание в верховом торфе (особенно в восстановляемых экосистемах) в десятки раз превышает таковое, зарегистрированное в низинных торфяниках.

Таким образом, обнаружены различия в содержании стероидных и терпеноидных соединений как между верховым и низинным торфом восстановляемых и естественных экосистем, так и различными группами торфа.

Оценка содержания токоферолов в образцах торфа из залежей низинного типа древесной и травяной групп, а также из залежей верхового типа травяной и моховой групп естественной и восстановляемой экосистем Беларуси.

Был проведен анализ содержания метилированных фенолов – токоферолов (а-токоферола, β -токоферола, γ -токоферола и δ -токоферола) в низинном торфе естественной и восстановляемой

экосистем. Анализ показал, что в торфе древесной группы (ольховый) суммарное содержание всех типов токоферолов оказалось в 2,8 раза выше в торфе естественной экосистемы по сравнению с образцами торфа восстанавливаемой экосистемы (табл. 4). Так, содержание γ -токоферола, δ -токоферола и α -токоферола в образцах торфа естественной экосистемы древесной группы в 2,2; 2,3 и в 3,1 раза превышало их количества, обнаруженные в образцах из восстанавливаемых месторождений. Содержание β -токоферола оказалось одинаковым в торфе обоих экосистем. По-другому распределилось содержание токоферолов в травяной группе (вид тростниковый) низинного торфа. Так, содержание β -токоферола, γ -токоферола и ацетата α -токоферола оказалось ниже в торфе естественной экосистемы по сравнению с восстанавливаемой – 50, 66 и 57 % соответственно. В то же время в торфе естественной экосистемы содержание δ -токоферола и α -токоферола оказалось в 1,25 и 1,17 раза выше, чем в торфе восстанавливаемой экосистемы соответственно. В среднем суммарное содержание всех типов токоферолов в торфе травяной группы естественной и восстанавливаемой экосистем оказалось одинаковым – 0,85 мкг/г сухого вещества.

Анализ содержания токоферолов в верховом торфе естественной и восстанавливаемой экосистем показал, что в торфе как травяной, так и моховой групп содержание всех типов токоферолов в образцах месторождений восстанавливаемой экосистемы оказывалось более высоким по сравнению с их содержанием в образцах торфа естественной экосистемы (см. табл. 4). Так, содержание β -токоферола, γ -токоферола и δ -токоферола в образцах торфа восстанавливаемой экосистемы травяной группы в 1,5; 1,5 и в 1,3 раза соответственно превышало их количества, обнаруженные в образцах из естественных месторождений. Аналогичная картина наблюдалась и в образцах торфа моховой группы. Содержание α -токоферола, β -токоферола, γ -токоферола и δ -токоферола в образцах торфа восстанавливаемой экосистемы моховой группы (фускум-торф) в 4,5; 4,5; 3,5 и в 2,8 раза соответственно превышало их количества, обнаруженные в образцах из естественных месторождений.

Таким образом, обнаружены различия в содержании токоферолов как между верховым и низинным торфом восстанавливаемых и естественных экосистем, так и между различными группами торфов. Выявлено увеличение содержания всех идентифицированных нами токоферолов в образцах торфа восстанавливаемых болотных экосистем по сравнению с естественными, что указывает на возможность использования этих соединений в качестве индикаторов наличия и интенсивности процессов торфообразования при повторном заболачивании соответствующих экосистем. Для торфа низинного типа определенной зависимости содержания токоферолов от состояния экосистемы не выявлено.

Сравнительный анализ состава органического вещества торфа естественных экосистем Беларуси и Западной Сибири.

Сравнительный анализ состава органического вещества нативных торфов естественных экосистем Беларуси и Западной Сибири проводили на образцах Н-151 и Н-152, взятых из участков верхового болота Червеньское (Галое), расположенного в Минской области (Беларусь), и из участков верхового болота Темное юга Томской области (Западная Сибирь) – образец Н-6. Образующими растениями обоих типов месторождений являются сфагновые мхи – *Sphagnum fuscum* и *Sphagnum magellanicum*. Характеристика образцов торфа Беларуси – Н-151 и Н-152 – «магеланикум» и торфа Западной Сибири – Н-6 «фускум» представлена в табл. 5.

Таблица 4. Содержание токоферолов в образцах торфа из залежей низинного типа древесной и травяной групп, а также из залежей верхового типа травяной и моховой групп естественной и восстанавливаемой экосистем Беларуси

Table 4. Content of tocopherols in peat samples from low-lying deposits of woody and herbaceous groups, as well as from the deposits of the upper type of herbaceous and moss groups of natural and restored ecosystems in Belarus

Образец торфа Соединение, мкг/г сухой массы	Верховой торф				Низинный торф			
	пушицевый		фускум		ольховый		тростниковый	
	Восстановленная	Естественная	Восстановленная	Естественная	Восстановленная	Естественная	Восстановленная	Естественная
δ -Токоферол	0,07	0,32	0,18	0,04	0,03	0,07	0,04	0,05
β -Токоферол	0,14	0,09	0,09	0,02	0,03	0,03	0,02	0,01
γ -Токоферол	1,41	0,94	1,39	0,40	0,73	1,59	0,21	0,14
α -Токоферол	8,15	6,45	3,57	1,25	1,86	5,80	0,52	0,61
Ацетат α -токоферола	0,08	0,01	0,10	0,06	0,06	0,12	0,07	0,04
Сумма токоферолов	9,85	7,81	5,33	1,77	2,71	7,61	0,85	0,85

Таблица 5. Характеристика образцов торфа верхового типа естественных болотных экосистем Беларуси и Западной Сибири**Table 5. Characteristics of the peat samples of the highland bog ecosystems of Belarus and Western Siberia**

Индекс образца	Глубина отбора, м	Вид торфа	Участок	Степень разложения торфа, %	Зольность, %	pH
<i>Верховой торф болота Червенское (Галое), Беларусь</i>						
H-151	0,0–0,2	Магелланум	Естественный	10	2,7	3,8
H-152	0,2–0,4	Магелланум	Естественный	15	2,5	3,7
<i>Верховой торф болота Темное, Западная Сибирь</i>						
H-6	0,0–0,06	Фускум	Естественный	3	2,9	2,7

Из данных, приведенных в табл. 5 следует, что при практически одинаковой зольности образцов белорусского и западносибирского торфа, степень разложения оказалась существенно ниже в западносибирских образцах, что, скорее всего, связано с особенностями климата, влияющими на степень разложения растительных остатков.

В табл. 6 представлено содержание отдельных групп летучих органических соединений, определяемых с помощью газового хроматографа в образцах верхового торфа Беларуси и Западной Сибири. Во всех образцах идентифицированы представители *n*-алканов (насыщенных ациклических углеводородов линейного или разветвленного строения с общей формулой C_nH_{2n+2}), аренов (ароматических углеводородов, содержащих бензольные ядра), жирных кислот и их эфиров, альдегидов, токоферолов, а также ациклических (моно-, сескви-, ди-, три-, тетра- и политерапенов), а также би-, три-, тетра- и пентациклических изопреноидов (терпеноидов, относящихся к природным соединениям из группы липидов, образующихся в живых организмах из мевалоновой кислоты).

Из табл. 6 видно, что доминирующими классами летучих органических соединений в образцах верхового торфа естественной экосистемы Беларуси являются *n*-алканы (в среднем 13,5 мкг/г сухой массы) и тритерпены (в среднем 10,4 мкг/г сухой массы). Их содержание составляет около 70 % от общей суммы идентифицированных соединений. В то же время содержание ароматических углеводородов (аренов) не превышает 0,5 % от общего содержания углеводородов. В верховом торфе болота Темное Западной Сибири в максимальном количестве среди всех органических соединений также присутствовали *n*-алканы – 26,89 мкг/г сухой массы.

Также из табл. 6 отчетливо видно, что суммарное содержание идентифицированных с помощью газовой хроматографии летучих органических соединений в торфе Западной Сибири более чем в 2,0 раза превышает таковое в образцах торфа из Беларуси. В отдельных случаях разница в содержании индивидуальных соединений составляет десятки единиц. Так, содержание альдегидов в торфе Западной Сибири превышало таковое в Белорусских образцах в 20,9 раз, содержание дитерпенов – в 23,6, циклических изопреноидов – стероидов и сесквитерпенов в 12,0 в 14,0 соответственно, алифатических *n*-алканов в 2,0 раза. Равенство наблюдалось только в случае тритерпенов и ароматических аренов.

Таблица 6. Содержание отдельных групп органических соединений в верховом торфе естественных болотных экосистем Беларуси и Западной Сибири**Table 6. Content of separate groups of organic compounds in the upland peat of natural bog ecosystems in Belarus and Western Siberia**

Индекс образца	Н-151	Н-152	Н-6
Болото	Червенское, Беларусь		Темное, Западная Сибирь
Участок	Нативный	Нативный	Нативный
Содержание в торфе, мкг/г сухой массы			
<i>n</i> -Алканы	12,65	14,42	26,89
Арены	0,18	0,12	0,12
Жирные кислоты	3,25	5,17	6,18
Эфиры жирных кислот	0,48	0,44	2,17
<i>n</i> -Альдегиды	0,24	0,34	5,03
Ациклические изопреноиды	2,54	3,02	11,33
Сесквитерпены	0,13	0,13	1,82
Дитерпены	0,13	0,15	3,30
Стероиды	0,32	0,23	3,27
Тритерпены	11,81	9,05	10,44
Токоферолы	0,19	0,29	1,93
Сумма	31,92	33,36	72,48

Анализ образцов торфа на содержание в них растительных пигментов позволил выявить в исследуемых препаратах наличие каротиноидов и пигментов тетрапиррольной природы. Так, в образцах торфа из Беларуси и Западной Сибири наблюдались существенные качественные и количественные различия в содержании тетрапирролов и каротиноидов (табл. 7). В образцах торфа из Беларуси зафиксировано наличие феофитина *a* и феофитина *b*. В образце торфа из нативного участка болота Темное Западной Сибири были выявлены не только продукты распада хлорофилловых пигментов, но и сами хлорофиллы *a* и *b*, а также каротиноиды – лютеин и неоксантин. И в этом случае содержание пигментов было выше в образце торфа Западной Сибири.

Таблица 7. Содержание тетрапиррольных пигментов и каротиноидов в образцах торфа верхового типа естественных болотных экосистем Беларусь и Западной Сибири

Table 7. Content of tetrapyrrole pigments and carotenoids in peat-type peat samples of natural bog ecosystems in Belarus and Western Siberia

Индекс образца	Феофитин		Феофорбид	Хлорофилл	Хлорофилл	Неоксантин	Лютеин		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>b</i>				
мкг/г сухой массы									
<i>Верховой торф болота Червенское (Галое), Беларусь</i>									
H-151	0,53	0,22				н. о.			
H-152	1,56	1,03				н. о.			
<i>Верховой торф болота Темное, Западная Сибирь</i>									
H-6	2,49	1,46	0,81	1,79	2,86	0,99	0,49		

Примечание: н. о. – не обнаружены.

Изменение количества тетрапирролов хлорофильной природы и каротиноидов может быть индикатором, отражающим функциональное состояние торфяных залежей и, следовательно, степени активности протекающих в них микробиологических и химических процессов.

Анализируя полученные результаты, следует отметить, что температура торфообразования и его состояние в значительной степени влияют на состав органического вещества. Различия в климатических условиях Западной Сибири и Беларуси нашло свое отражение в изменении количественного и качественного состава изучаемых органических соединений. В Беларуси количество зимних дней со снежным покровом составляет примерно 30 % в году, в то время как в Западной Сибири – 50 %. Более суровые климатические условия со среднегодовой температурой в Западной Сибири ($-1,6^{\circ}\text{C}$) могут быть причиной более низкой степени разложения западносибирских торфов. Более поздние сроки оттаивания и сброса талых вод Западной Сибири обуславливают малую скорость происходящих в торфяной залежи окислительных процессов. В результате в торфе Беларуси существенно снизилось содержание наименее стабильных углеводородов, в то время как в торфе Западной Сибири эти соединения сохранились в большей степени.

Суммируя полученные нами результаты, мы предполагаем, что качественный и количественный состав органического вещества в торфе зависит не только от климатических условий формирования торфяной залежи, но и должен определяться также его генезисом и, следовательно, содержанием биологически активных соединений, таких как порфирины, каротиноиды, терпеноиды, стероиды, токоферолы и другие вещества, которые, как нами было показано, являются химическими индикаторами функционального состояния торфяной залежи. Поэтому выявление особенностей качественного и количественного состава биологически активных компонентов органического вещества торфа в зависимости от его вида и условий формирования в регионах Беларуси и Западной Сибири с целью рационального и эффективного использования торфяных ресурсов в растениеводстве, животноводстве и фармацевтической промышленности может стать нашей следующей задачей.

Заключение. Таким образом, проведен отбор образцов торфа из залежей низинного и верхового типа естественной и восстанавливаемой экосистем. Результаты исследования показали, что обводнение залежей восстанавливаемых экосистем, проводившееся в течение последних 5–10 лет, приблизило их общетехнические характеристики к показателям, обнаруженным в образцах из естественных болотных массивов.

В исследованных образцах торфа обнаружены порфириновые пигменты как растительного (феофитины *a* и *b*, феофорбид *a*), так и бактериального происхождения (бактериофеофитин *a*). Для всех образцов характерны существенные отличия в качественном и количественном составе пигментов. Выявлена зависимость в содержании тетрапирролов в торфе, как от глубины его залегания, так и

от состояния экосистемы. Показано существенное увеличение содержания порфиринов в образцах торфа низинного типа травяной группы, а также в образцах торфа верхового типа моховой группы восстанавливаемых болотных экосистем по сравнению с естественными.

Обнаружены различия в содержании стероидных и терпеноидных соединений как между верховыми и низинными торфами восстанавливаемых и естественных экосистем, так и между различными группами торфа. Выявлена общая закономерность – верховые торфяники содержали значительно большие количества всех видов стероидов и терпеноидов по сравнению с низинными торфами.

Анализ содержания метилированных фенолов – токоферолов (α -токоферола, β -токоферола, γ -токоферола и δ -токоферола) в верховых торфах естественной и восстанавливаемой экосистем по- казал, что в верховых торфах как травяной, так и моховой групп содержание всех типов токоферолов в образцах месторождений восстанавливаемой экосистемы оказывалось более высоким по сравнению с их содержанием в образцах торфов естественной экосистемы. В то же время в низинном торфе естественной и восстанавливаемой экосистем древесной группы (ольховый) суммарное содержание всех типов токоферолов оказалось в 2,8 раза выше в торфе естественной экосистемы по сравнению с образцами торфа восстанавливаемой экосистемы. В низинном торфе травяной группы (вид тростниковый) содержание β -токоферола, γ -токоферола и ацетата α -токоферола оказалось ниже в торфах естественной экосистемы по сравнению с восстанавливаемыми торфами – 50, 66 и 57 % соответственно. В среднем же суммарное содержание всех типов токоферолов в торфах травяной группы естественной и восстанавливаемой экосистем оказалось одинаковым – 0,85 мкг/г сухого вещества. Таким образом, обнаружены различия в содержании токоферолов как между верховыми и низинными торфами восстанавливаемых и естественных экосистем, так и между различными группами торфов.

Отмечена более низкая степень разложения западносибирских торфов и, соответственно, более высокое содержание в них летучих органических соединений и тетрапиролов. Сделан вывод, что более суровые климатические условия со среднегодовой температурой в Западной Сибири ($-1,6^{\circ}\text{C}$), более поздние сроки оттаивания и сброса талых вод в этом регионе обусловливают малую скорость происходящих в торфяной залежи окислительных процессов и большую сохранность органического вещества по сравнению с торфами Беларуси.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант БРФИ № Х15СО–011).

Список использованных источников

1. Бамбалов, Н. Н. Роль болот в биосфере / Н. Н. Бамбалов, В. А. Ракович. – Минск : Беларусская наука, 2005. – 287 с.
2. Курзо, Б. В. Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля / Б. В. Курзо – Минск : Беларусская наука, 2005. – 223 с.
3. Оценка функционального состояния болотных экосистем Беларуси и Западной Сибири на основе анализа состав торфяных битумов / О. В. Серебренникова [и др.] // Химия в интересах устойчивого развития. – 2015. – № 23. – С.367–377.
4. Development and refinement of proxy-climate indicators from peats / F. M. Chambers [et al.] // Quaternary International. – 2012. – Vol. 268. – P. 21–33.
5. Schellekens, J. n-Alkane distributions as palaeoclimatic proxies in ombrotrophic peat: The role of decomposition and dominant vegetation / J. Schellekens, P. Buurman // Geoderma. – 2011. – Vol. 164. – P. 112–121.
6. Palaeoclimate reconstruction from biomarker geochemistry and stable isotopes of n-alkanes from Carboniferous and Early Permian humic coals and limnic sediments in western and eastern Europe / A. Izart [et al.] // Organic Geochemistry. – 2012. – Vol. 43. – P. 125–149.
7. Andersson, R. A. Effect of climate change on delivery and degradation of lipid biomarkers in a Holocene peat sequence in the Eastern European Russian Arctic / R. A. Andersson, P. A. Meyers // Organic Geochemistry. – 2012. – Vol. 53. – P. 63–72.
8. Different source of n-alkanes and n-alkan-2-ones in a 6000 cal. yr BP Sphagnum-rich temperate peat bog (Roñanzas, N Spain) / V. Lopez-Díaz [et al.] // Organic geochemistry. – 2013. – Vol. 57. – P. 7–10.
9. Cryptic abundance of long-chain iso and anteiso alkanes in the Dajihu peat deposit, central China / X. Huang [et al.] // Organic Geochemistry. – 2014. – Vol. 66. – P. 137–139.
10. Торф. Термины и определения. ГОСТ 21123-85. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 49 с.
11. Домбровская, А. В. Атлас растительных остатков, встречаемых в торфе / А. В. Домбровская, М. И. Коренева, С. Н. Тюремнов. – М. : Госэнергоиздат, 1959. – 137 с.
12. Торф. Метод определения степени разложения. ГОСТ 10650-72. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 8 с.
13. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. ГОСТ 11306-83. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 8 с.
14. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск : Наука и техника, 1975. – 319 с.

15. Методы определения общего азота. ГОСТ 26715-85. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 12 с.
16. Почвы. Методы определения органического вещества. ГОСТ 26213-91. – М. : Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.
17. The identification of chlorophyll and its derivatives in the pigment mixtures: HPLC-chromatography, visible and mass spectroscopy studies / S. V. Milenković [et al.] // Advanced Technologies. – 2012. – Vol. 1. – P. 16–24.
18. Forni, E. HPLC separation and fluorimetric estimation of chlorophylls and pheophytins in fresh and frozen peas / E. Forni, M. Ghezzi, A. Polesello // Chromatography. – 2012. – Vol. 1. – P. 120–124.
19. Occurrence and distribution of metals and porphyrins in Nigerian coal minerals / A. A. Olajire [et al.] // J. Fuel Chem. Technol. – 2007. – Vol. 35. – P. 641–647.

References

1. Bambalov N. N., Rakovich V. A. *Rol bolot v biosfere* [The role of wetlands in the biosphere]. Minsk, Belarus. Science, 2005, 287 p.
2. Kurzo B. V. *Zakonomernosti formirovaniya i problemyi ispolzovaniya sapropelya* [Laws of formation and problems of using sapropel]. Minsk, Belarus. Science, 2005, 223 p.
3. Serebrennikova O. V., Strelnikova E. B., Duchko M. A., Averina N. G., Kozel N. V. *Otsenka funktsionalnogo sostoyaniya bolotnyih ekosistem Belarusi i Zapadnoy Sibiri na osnove analiza sostav torfyanyih bitumov* [Assessment of the functional state of bog ecosystems in Belarus and Western Siberia on the basis of analysis of the composition of peat bitumen]. *Himiya v interesah ustoychivogo razvitiya = Chemistry for Sustainable Development*, 2015, no. 23, pp. 367–377.
4. Chambers F. M., Booth R. K., De Vleeschouwer F., Lamentowicz M., Le Roux G. I., Mauquoy D., Nichols J. E., Van Geel B. *Development and refinement of proxy-climate indicators from peats*. *Quaternary International*, 2012, vol. 268, pp. 21–33. doi: 10.1016/j.quaint.2011.04.039.
5. Schellekens J., Buurman P. *n-Alkane distributions as palaeoclimatic proxies in ombrotrophic peat: The role of decomposition and dominant vegetation*. *Geoderma*, 2011, vol. 164, pp. 112–121. doi: 10.1016/j.geoderma.2011.05.012.
6. Izart A., Palhol F., Gleixner G., Elie M., Blaise T., Suarez-Ruiz I., Sachsenhofer R. F., Privalov V. A., Panova E. A. Palaeoclimate reconstruction from biomarker geochemistry and stable isotopes of n-alkanes from Carboniferous and Early Permian humic coals and limnic sediments in western and eastern Europe. *Organic Geochemistry*, 2012, vol. 43, pp. 125–149. doi: 10.1016/j.orggeochem.2011.10.004.
7. Andersson R. A., Meyers P. A. Effect of climate change on delivery and degradation of lipid biomarkers in a Holocene peat sequence in the Eastern European Russian Arctic. *Organic Geochemistry*, 2012, vol. 53, pp. 63–72. doi: 10.1016/j.orggeochem.2012.05.002.
8. Lopez-Días V., Blanco C. G., Bechtel A., Püttmann W., Borrego A. G. Different source of n-alkanes and n-alkan-2-ones in a 6000 cal. yr BP Sphagnum-rich temperate peat bog (Roñanzas, N Spain). *Organic geochemistry*, 2013, vol. 57, pp. 7–10. doi: 10.1016/j.orggeochem.2013.01.006.
9. Huang X., Meyers P. A., Xue J., Wang X., Zheng L. *Cryptic abundance of long-chain iso and anteiso alkanes in the Dajihu peat deposit, central China*. *Organic Geochemistry*, 2014, vol. 66, pp. 137–139. doi: 10.1016/j.orggeochem.2013.11.011.
10. GOST 21123-85. *Torf. Terminy i opredeleniya* [State Standard 21123-85. Peat. Terms and Definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 1986, 49 p.
11. Dombrovskaya A. V., Koreneva M. I., Tyurennov S. N. *Atlas rastitelnyih ostatkov, vstrechaemyih v torfe* [Atlas of plant residues found in peat]. Moscow, Gosenergoizdat, 1959, 137 p.
12. GOST 10650-72. *Torf. Metod opredeleniya stepeni razlozheniya* [State Standard 10650-72. Peat. Method for determining the degree of decomposition]. Moscow, Standartinform Publ., 1974, 8 p.
13. GOST 11306-83. *Torf i produkty ego pererabotki. Metody opredeleniya zolnosti* [State Standard 11306-83. Peat and products of its processing. Methods for determination of ash content]. Moscow, Standartinform Publ., 1985, 8 p.
14. Lishtvan I. I., Korol N. T. *Osnovnyie svoystva torfa i metody ih opredeleniya* [Basic properties of peat and methods for their determination]. Minsk, Science and Technology, 1975, 319 p.
15. GOST 26715-85. *Metody opredeleniya obschego azota* [State Standard 26715-85. Methods for determination of total nitrogen]. Moscow, Standartinform Publ., 1987, 12 p.
16. GOST 26213-91. *Pochvy. Metody opredeleniya organicheskogo veschestva* [State Standard 26213-91. Soil. Methods for the determination of organic matter]. Moscow, Standartinform Publ., 1992, 8 p.
17. Milenković S. V., Andelković T. D., Zvezdanović J. B., Marković D. Z. The identification of chlorophyll and its derivatives in the pigment mixtures: HPLC-chromatography, visible and mass spectroscopy studies. *Advanced Technologies*, 2012, vol. 1, pp. 16–24.
18. Forni E., Ghezzi M., Polesello A. *HPLC separation and fluorimetric estimation of chlorophylls and pheophytins in fresh and frozen peas*. *Chromatography*, 2012, vol. 1, pp. 120–124. doi:10.1007/BF02268135
19. Olajire A. A., Ameen A. B., Abdul-Hameed M., Adekola F. A. *Occurrence and distribution of metals and porphyrins in Nigerian coal minerals*. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 2007, vol. 35, pp. 641–647. doi:10.1016/S1872-5813(08)60001-8

Информация об авторах

Аверина Наталья Георгиевна – д-р биол. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси (Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: averina@ibp.org.by

Козел Николай Владимирович – канд. биол. наук, ст. науч. сотрудник, Институт биофизики и клеточной инженерии НАН Беларуси (Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: kmu@tut.by

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

Серебренникова Ольга Викторовна – д-р хим. наук, профессор, зав. лаб. природных превращений нефти, Институт химии нефти СО РАН (пр. Академический, 4, 634021, г. Томск, Россия). E-mail: ovs49@yahoo.com

Стрельникова Евгения Борисовна – канд. хим. наук, науч. сотр. Институт химии нефти СО РАН (пр. Академический, 4, 634021, г. Томск, Россия). E-mail: seb@ipc.tsc.ru

Information about the authors

Nataliya G. Averina – D.Sc. (Biology), Professor, Chief Researcher, Institute of Biophysics and Cell Engineering of National Academy of Sciences of Belarus (27, Academiceskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: averina@ibp.org.by

Nikolai V. Kozel – Ph.D. (Biology), Senior Researcher, Institute of Biophysics and Cell Engineering of National Academy of Sciences of Belarus (27, Academiceskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kmu@tut.by

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, Republic of Belarus). E-mail: mire4@tut.by

Olga V. Serebrennikova – D.Sc. (Chemistry), Professor, Head of Lab., Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (4, Academicesky Avenue, 634021, Tomsk, Russia). E-mail: ovs49@yahoo.com

Evgeniya B. Strelnikova – Ph.D. (Chemistry), Researcher, Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (4, Academicesky Avenue, 634021, Tomsk, Russia). E-mail: ovs49@yahoo.com

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ ПО ПРИГОДНОСТИ ЗАПАСОВ ТОРФА И ЗАЛЕГАЮЩЕГО СОВМЕСТНО С НИМ САПРОПЕЛЯ ДЛЯ ВЫПУСКА ПРОДУКЦИИ КОМПЛЕКСНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Б. В. Курзо, А. В. Краковецкий

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Обоснована перспективность использования торфа и сапропеля как сырья для получения ряда продуктов нетопливного назначения при их глубокой комплексной переработке.

Обобщен и проанализирован фондовый материал по качественной характеристики и объему запасов торфа и сапропеля, что позволило предложить критерии перспективности торфяных и сапропелевых ресурсов для комплексной глубокой переработки. Для торфяных ресурсов основным критерием перспективности для комплексного использования является увеличенная до 40 % и более концентрация верхового и переходного торфа в общем объеме торфяных запасов административного района и наличие не менее четырех категорий торфяного сырья каждого типа. Выделено четыре ступени: от очень высокой обеспеченности до низкой. Около половины районов Беларуси (58 из 118) имеют высокую обеспеченность торфом разного типа и подходят для создания предприятий по комплексной переработке торфяного сырья. Для ресурсов сапропеля критерием перспективности для комплексного освоения является наличие промышленных запасов разного типа на выработавших из эксплуатации торфяных месторождениях.

На основе предложенных критериев разработана схема районирования территории Беларуси по пригодности запасов и обеспеченности торфо-сапропелевым сырьем для организации производств по выпуску продукции комплексного назначения, с выделением пяти областей и трех подобластей, позволяющая намечать размещение предприятий по комплексному использованию торфа и сапропеля. Высокой обеспеченностью торфо-сапропелевым сырьем, пригодным для комплексного производства, выделяются Пooзерская и Центральноберезинская области.

Ключевые слова: торфяное и сапропелевое сырье; комплексная переработка; районирование; запасы торфа и сапропеля; тип торфа; категории торфяного сырья.

Для цитирования. Курзо Б. В., Краковецкий А. В. Районирование территории Беларуси по пригодности запасов торфа и залегающего совместно с ним сапропеля для выпуска продукции комплексного назначения // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 176–189.

REGIONALIZATION OF THE TERRITORY OF BELARUS BY THE SUITABILITY OF PEAT AND PEAT-RELATED SAPROPEL RESOURCES FOR INTEGRATED PURPOSE GOODS PRODUCTION

B. V. Kurzo, A. V. Krakovetsky

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

Abstract. The prospects of using peat and sapropel as raw materials for the production a number of non-fuel goods for it deep integrated processing are substantiated.

The available data on qualitative characteristics and volume of peat and sapropel reserves was generalized and analyzed, which made it possible to offer criteria for the prospects of peat and sapropel resources for integrated deep processing. For peat resources the main criteria are increased (up to 40 %) the portion of up-land and transitional peat in the total volume of peat reserves in the administrative district and the presence of at least 4 categories of peat raw material of each type. According to proposed criteria there are 4 stages of endowment: from very high to low. About half of the administrative districts of Belarus (58 out of 118) have high endowment of various peat types and suitable for the establishment of enterprises for the integrated processing of raw peat. For sapropel resources the criterion of prospects for integrated exploitation is the availability of its various types reserves at withdraw from exploitation peat deposits.

On the basis of the proposed criteria, a scheme for the regionalization of the territory of Belarus by the provision of raw peat and sapropel for the establishment of integrated purposes goods production enterprises. According to the scheme there are 5 regions and 3 sub-regions on the territory of Belarus which allow to choose the location for integrated purpose goods production enterprises. Poozersk and Central Berezina regions are characterized by high endowment of peat and sapropel resources for integrated purpose goods production.

Keywords: rawpeat and sapropel; integrated processing; regionalization; peat and sapropel reserves; peat type; raw peat categories.

For citation. Kurzo B. V., Krakovetsky A. V. Regionalization of the territory of Belarus by the suitability of peat and peat-related sapropel resources for integrated purpose goods production. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 176–189.

Введение. Торфяные и сапропелевые ресурсы болотных геосистем Беларуси используются главным образом в промышленности и сельском хозяйстве. Основным направлением применения торфа в промышленности остается топливное. Потребителями топливной продукции из торфа являются тепловые электростанции, котельные, объекты коммунально-бытового сектора.

В качестве топлива используется фрезерный, кусковой, брикетированный и гранулированный торф, из которого удаляется значительное количество воды. Из высушенного фрезерного торфа под давлением формируют топливные брикеты – основной вид торфяной топливной продукции. В отдельных котлоагрегатах также сжигают пылевидный торф, добытый фрезерным способом и предварительно высушенный и измельченный [1].

В последние годы наблюдается сокращение выпуска топливных брикетов торфобрикетными заводами, что связано с проведением в республике повсеместной газификации (рис. 1) [2, 3].

Из диаграмм рис. 1 вытекает, что объемы производства торфяного брикета сократились как для внутреннего рынка, так и для поставок на экспорт. Незначительное повышение производства с 730 до 945 тыс. т в год в период с 2014 по 2016 г. связано с увеличением поставок топливного брикета на цементные заводы республики.

Новым технологичным видом топлива из торфа считаются топливные гранулы или пеллеты. Перспективы использования топливных гранул обусловлены возможностями полной автоматизации подачи топлива в зону горения, использования в котлах любой мощности: от отопления дома до ТЭЦ. Сыпучесть пеллет позволяет полностью автоматизировать их сжигание, как в бытовых, так и промышленных котлах. Топливные гранулы безвредны для окружающей среды, максимально безопасны при перевозке и хранении, не распадаются при длительном содержании на складе. Существует возможность создания пеллет на основе торфа с добавками неиспользуемых органических отходов сельского хозяйства и деревообработки [4]. В настоящее время в нашей стране создано насколько пеллетных производств на основе торфяного сырья – в Лиозненском районе Витебской области иностранным частным унитарным предприятием «Бризант-Энерджи Центр» и в Осиповичском районе Могилевской области СООО «Экоарк» [5]. В связи с отсутствием в республике котлоагрегатов для сжигания пеллет, активное производство и потребление этого перспективного вида топлива у нас в стране можно ожидать через 10–20 лет.

В то же время из торфа и сапропеля можно получать разнообразную номенклатуру нетопливных продуктов. При этом возрастает степень использования исходного сырья, и происходит диверсификация промышленного предприятия, осуществляющего разработку торфяного месторождения, подстилаемого сапропелем.

В республике имеются все условия и опыт по использованию сапропеля для выпуска разнообразной востребованной продукции. В настоящее время разрабатывается девять сапропелевых месторождений. Из сапропеля производятся удобрения, питательные грунты и раскисляющие почву материалы (ОАО «Житковичхимсервис», ОАО «Лельчицкийагросервис», ДП «Новогрудская сельхозтехника»), витаминные и минеральные добавки к кормам для животных (ОАО «Лельчицкийагросервис», ДП «Новогрудская сельхозтехника»), компоненты для буровых растворов (ОАО «Житковичхимсервис»), лечебные грязи (СООО «Эко-сапропель», санатории «Радон» и «Плисса», ООО «Гермес А», ОДО «Природные богатства»), одноразовые грязевые аппликаторы для домашнего применения (санатории «Радон», ООО «Гермес А») и косметические средства (СООО «Эко-сапропель»). Прошли испытания и готовятся к выпуску гуминовые препараты из торфа и сапропеля для сельского хозяйства и бальнеологии.



Рис. 1. Объемы производства и структура использования торфяного брикета по годам

Fig. 1. Volumes of production and structure of peat briquette use by years

Цели и задачи исследования. Комплексное освоение болотных геосистем позволяет получать такие продукты из торфа и сапропеля, имеющие высокую добавленную стоимость, как активированные угли, органоминеральные комплексные удобрения, торфяные сорбенты, гуминовые препараты, сырой торфяной воск и др. [6, 7]. Выполнен большой комплекс научных исследований, показавших высокую эффективность этих продуктов, некоторые из них производятся в опытно-промышленных масштабах, выпуск других может быть начат в обозримом будущем [8–11].

Нанесенные на карту места концентрированного размещения запасов сапропеля на выработанных торфяных месторождениях позволяют наметить наиболее перспективные и подготовленные для освоения месторождения и существенно расширить сырьевую базу для производства различной продукции из чистого сапропеля и при его переработке совместно с торфом.

Цель работы – провести районирование территории республики по степени пригодности запасов торфа и сапропеля на торфяных месторождениях как по объему, так и по качественным характеристикам для выявления перспективных сырьевых баз по организации производства по комплексной глубокой переработке.

Задачи исследований.

- 1) анализ фондовых материалов по качественной характеристики и объему запасов торфа и залегающего совместно с ним сапропеля;
- 2) разработка критериев для оценки перспективности торфяных и сапропелевых ресурсов для комплексной глубокой переработки;
- 3) разработка схемы районирования территории республики по степени пригодности и обеспеченности торфяно-сапропелевым сырьем для организации производства продукции комплексного назначения.

Методы исследования. Конкретные направления использования болотных геосистем и разнобразие производимой из торфопродукции зависит главным образом от типа торфа, слагающего болотную геосистему. Тип торфа определяется преобладающей болотной растительностью, развитие которой, в свою очередь, обусловлено взаимодействием важнейших физико-географических факторов – тепла и влаги – с геоморфологическими условиями. В зависимости от рельефа местности вода поступает на торфяное болото преимущественно в виде атмосферных осадков (верховое торфяное месторождение) или в основном в виде поверхностно-сточных и грунтовых вод (торфяное месторождение низинного типа). В водном режиме большинства болотных геосистем участвует в тех или иных сочетаниях несколько источников питания. По количественному содержанию минеральных солей наиболее резко отличаются между собой атмосферные воды (слабо минерализованные) и грунтовые (сильно и средне минерализованные). В зависимости от степени минерализации питающих вод на торфяных болотах создаются различные по минеральному питанию условия роста растительного покрова. Низинный (евтрофный) тип болотной растительности, формирующийся в условиях питания грунтовыми водами, богатыми минеральными элементами, является наиболее разнообразным в видовом отношении. Верховой (олиготрофный) тип болотной растительности беден по количеству встречающихся видов по сравнению с евтрофным. Переходный (мезотрофный) тип растительности представлен участками торфяных болот, состоящими из растительных ассоциаций того или другого типов, и при этом более или менее близкими по видовому составу к олиготрофному или евтрофному типам в зависимости от характера питающих вод [12].

Для получения данных по первоначальному объему запасов торфа, его типологической принадлежности и качественным характеристикам в пределах административных районов использовались материалы по шести областям кадастрового справочника торфяного фонда республики по состоянию на 1978 г. [13]. Последующие изменения в результате разработки торфяных месторождений и оставшиеся запасы торфа в пределах районов анализировались по материалам Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Белорусской ССР на период до 2010 года и новой Схемы распределения торфяников по направлениям использования на период до 2030 года.

В пределах каждого административного района определяли оставшийся запас торфа по типам, строили районные картограммы их распределения по территории республики. В качестве основного критерия для оценки перспективности торфяных ресурсов для комплексной глубокой переработки в пределах административного района определена обеспеченность запасами верхового и переходного, а также низинного торфа. При анализе рядов распределения запасов торфа разного типа экспериментально установлено, что при очень высокой обеспеченности торфяным сырьем для организации комплексного производства торфяной продукции общие запасы низинного торфа в районе должны составлять более 50 млн т, верхового и переходного – суммарно более 25 млн т. При высокой обеспеченности запасы низинного торфа в районе варьируются от 1 до 50 млн т, а запасы верхового – от 1 до 25 млн т. Повышенная обеспеченность торфяным сырьем для комплексной глубокой переработки характеризуется запасами низинного торфа не менее 1 млн т, верхового и переходного – до 1 млн т. При низкой обеспеченности торфяным сырьем для комплексной переработки в районе в наличии имеется только низинный торф с общими запасами более 500 тыс. т, а запасы верхового и переходного практически отсутствуют.

Важным критерием перспективности запасов торфа для комплексной глубокой переработки, кроме общих запасов является его качественное разнообразие. Основными показателями, по которым определяется пригодность торфа для различных направлений использования считаются обще-технические свойства: степень разложения, зольность, ботанический состав (вид торфа), а в качестве альтернативных показателей в зависимости от вида планируемой к выпуску продукции используют содержание отдельных компонентов группового состава (битумы, редуцирующие и гуминовые вещества и др.), химический состав золы, в том числе содержание оксидов кальция, железа, алюминия, серы, а также емкость поглощения, влагоемкость, насыпную плотность [14].

В настоящее время накоплен огромный статистический материал о составе и свойствах различных видов торфа. Это позволяет получить методом расчета прогнозную, но достаточно точную для технических целей характеристику торфяного сырья, опираясь на данные по нескольким его основным характеристикам, определяемым экспериментально. Установлено, что для комплексной характеристики торфа необходимо знать два параметра. Один из них должен характеризовать степень распада органического вещества (степень разложения торфа), второй – отражать условия минерального питания в период формирования торфа, о чем свидетельствует его зольность [15]. Значения большинства других компонентов состава торфа можно устанавливать, определяя искомую величину как функцию данных двух аргументов.

Принято, что при оценке запасов торфа для различных направлений использования по виду торфа, степени разложения и зольности выделяют 17 категорий торфяного сырья [14]. Чем больше категорий торфяного сырья с приемлемыми запасами для организации производств сосредоточено на определенной площади, тем более разнообразную продукцию можно получать из него. Поэтому качественное разнообразие торфа в районе определяется суммой выявленных категорий разведанного торфяного сырья. Установлено, что в районах с очень высокой обеспеченностью торфяным сырьем разного типа сумма категорий торфяного сырья максимальна и достигает 16–17 единиц, при высокой обеспеченности она составляет 13–15, при повышенной находится в интервале 8–12, а при низкой не бывает более 7 единиц (табл. 1). Приоритет при выделении перспективных районов для организации производств по комплексной глубокой переработке отдается общим запасам торфа по типам в том или ином районе, а также учитывается разнообразие запасов по выявленным категориям торфяного сырья.

Оценка ресурсов сапропеля под торфом выполнена по фондовым материалам торфяных ресурсов Государственного геологического фонда, архивам проектных институтов и Института природопользования НАН Беларуси. На все изученные торфяные месторождения, подстилаемые озерным сапропелем, если для них не проводился подсчет запасов донных отложений, вычерчивались планы, на которые наносились глубины и нулевые границы торфа и сапропеля, измерялись площади сапропеля, рассчитывались средние мощности и объемы сапропелевых отложений. Для определения запасов при условной 60 %-ной влажности осуществлялся пересчет объемов в массу с учетом влажности материала и плотности. Вещественный состав и описание характеристик сапропелей, полученные по отчетным материалам, позволили разделить подсчитанные запасы на типы согласно промышленно-генетической классификации [16].

Перспективность залежи сапропеля на выработанном или разрабатываемом торфяном месторождении для добычи сапропелевого сырья осуществлялась по разработанным критериям. Основными критериями этой оценки являлись геологические и хозяйствственные. Показателями первых является средняя мощность и объем запасов, качественная характеристика и соответствие техническим условиям на различные виды продукции из сапропеля. Для оценки месторождения по второму критерию определялась степень сработки торфа на месторождении или в районе, давалась прогнозная

Таблица 1. Градация административных районов Беларуси по обеспеченности торфяным сырьем для комплексного производства

Table 1. Graduation of the administrative districts of Belarus for raw peat provision for integrated production

Обеспеченность сырьем для комплексного производства	Тип торфа	Запасы по типам, млн т	Сумма категорий торфяного сырья, шт.	Количество районов
Очень высокая	Низинный и верховой*	Верховой: более 25 Низинный: более 50	16–17	6
Высокая	Низинный и верховой	Верховой: 1–25 Низинный: 1–50	13–15	52
Повышенная	Низинный и верховой	Верховой: до 1 Низинный: 1 и более	8–12	39
Низкая	Низинный	Низинный: более 0,5	≤ 7	21

* Суммарные запасы верхового и переходного торфа.

оценка возможности добычи запасов сапропеля. Косвенным показателем доступности освоения ресурсов сапропеля под торфом в том или ином районе является повышенный процент выработанных запасов торфа с начала их эксплуатации по сравнению с первоначальным запасом.

С учетом перечисленных выше показателей все выбывшие из промышленной эксплуатации торфоучастки и торфяные месторождения с сапропелем разделены на три группы: весьма перспективные для добычи сапропеля, перспективные и условно перспективные. При освоении ресурсов торфа и залегающего под ним сапропеля с целью расширения номенклатуры выпускаемой продукции комплексной глубокой переработки выделяются районы и территории повышенной концентрации весьма перспективных и перспективных для разработки озерных отложений торфяных месторождений, имеющих в пределах выработанных участков площадь распространения сапропеля более 50 % и среднюю мощность около 1 м. Торф над залежью сапропеля на таких участках существенно сработан.

Скопления близко расположенных перспективных и весьма перспективных для освоения залежей сапропеля под торфом оконтуривались и наносились на карту запасов торфа разного типа, что позволило провести районирование территории республики по обеспеченности торфяным и сапроплевым сырьем для организации комплексных производств по их глубокой переработке.

Результаты. В районах Беларуси в зависимости от природной обстановки имеются большие различия в сочетании основных факторов болотообразования, что приводит к неравномерному распределению болотных геосистем по территории страны и разной концентрации типов торфа в разрезе административных районов (рис. 2).

Как видно из приведенного рисунка, наиболее крупные запасы низинного торфа сконцентрированы в Осиповичском районе. Запасы торфа с повышенной концентрацией низинного торфа от 100 до 150 млн т также находятся в Любанско-Минской области, 5 районах Брестской области, и по одному району в Гомельской и Витебской областях. Запасы низинного торфа в диапазоне от 50 до 100 млн т находятся в пределах 18 административных районов республики, наибольшее количество из которых сконцентрировано в пределах Гомельской области (6 районов). Наименьшие запасы низинного торфа характерны для восточной части страны, где преобладают районы с концентрацией торфа низинного типа от 1 до 10 млн т.

Наиболее распространены в пределах Беларуси административные районы с запасами низинного торфа от 25 до 50 млн т, на них приходится около 30 % всех районов страны. Больше всего низинного торфа сконцентрировано в пределах Гомельской, Брестской и Витебской областей. По запасам верхового торфа лидирует Миорский район Витебской области с более чем 100 млн т. В градацию от 50 до 100 млн т верхового торфа входит Шумилинский район. Крупные запасы до 25 млн т также представлены в пределах 5 районов Витебской области, двух районов Гомельской и Минской областей и одного района Брестской области. Таким образом, наибольшие суммарные запасы верхового торфа находятся в пределах Витебской области, восточной части Минской и западной части Могилевской областей. Меньше всего верхового торфа сосредоточено в Гродненской и Брестской областях, где чаще всего представлены районы с запасом до 1 млн т. Надо заметить, что в пределах двух Полесских областей на фоне низких запасов верхового торфа выделяется четыре административных района, имеющие запасы торфа верхового типа от 10 до 50 млн т.

Наибольшие запасы переходного торфа находятся в пределах Столинского района Брестской области. В то же время в 10 из 16 районов Брестской области запасы переходного торфа полностью отсутствуют. Значительная концентрация переходного торфа от 5 до 10 млн т характерна для трех районов Гомельской и Витебской областей и одного района Брестской области. Больше всего переходного торфа находится в пределах четырех областей центральной и восточной Беларуси: Гомельской, Витебской, Минской и Могилевской. Наименьшие запасы переходного торфа представлены в юго-западной Беларуси, в границах Гродненской, Брестской и северо-восточной части Минской области. Как видно из рис. 2, сюда преобладают административные районы, где запасы переходного торфа малы или отсутствуют.

Разнообразие основных типов торфа и наличие не менее четырех категорий торфяного сырья каждого типа являются одними из главных показателей пригодности болотной геосистемы к комплексному освоению и выпуску большого перечня продукции из торфяного сырья. Градация административных районов республики по обеспеченности торфом для комплексного использования представлена ниже в табл. 2. Всего выделено четыре ступени по обеспеченности от очень высокой до низкой.

Как видно из табл. 1, около 50 % районов Беларуси (58 из 118) имеют очень высокую и высокую обеспеченность торфом разного типа и подходят для создания крупных предприятий по комплексной переработке торфяного сырья. Пространственное распределение административных районов по обеспеченности торфом представлено на рис. 3, из которого следует, что в пределах Витебской области представлены районы только с очень высоким и высоким уровнем обеспеченности торфяным сырьем для организации выпуска продукции комплексного назначения. Наибольшую обеспеченность имеют Докшицкий и Лепельский районы. Здесь расположены такие крупные болотные геосистемы, как Журавлевское, Каролинское, Сервечь, Жары, Домжерицкое, Казенное Эмкино.

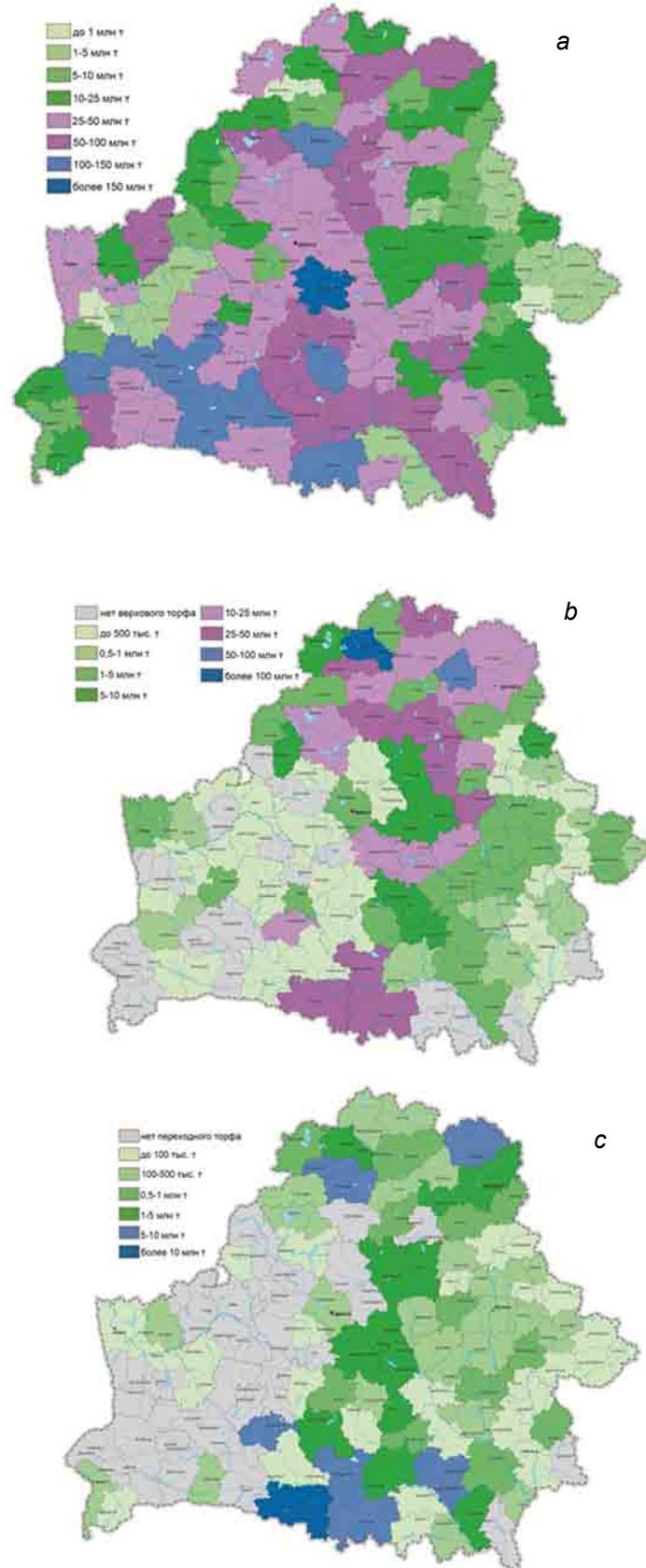


Рис. 2. Распределение запасов низинного (а), верхового (б) и переходного (с) торфа болотных геосистем по административным районам Беларуси

Fig. 2. Distribution of low-moor (a), high-moor (b) and transition-moor (c) peat reserves of bog geosystem in the administrative districts of Belarus

Таблица 2. Ресурсы сапропеля на перспективных для их освоения разрабатываемых торфяных месторождениях

Table 2. Sapropel resources on perspective for its exploitation developed peatlands

Область	Количество торфяных месторождений	Площадь, тыс. га торфа сапропеля	Объем, млн м ³ Запас, млн т сапропеля	Средняя	
				мощность, м	зола, %
Брестская	44	51,25 7,54	56,89 36,27	0,75	52,9
Витебская	186	101,61 28,21	302,01 164,82	1,07	38,0
Гомельская	66	41,54 3,88	43,28 23,5	1,12	52,7
Гродненская	42	33,76 4,54	51,30 45,57	1,13	62,8
Минская	92	81,3 9,25	78,54 55,71	0,85	51,7
Могилевская	57	41,49 5,82	42,14 26,12	0,72	44,9
Всего:	487	350,95 59,24	574,16 351,99	0,97	45,2

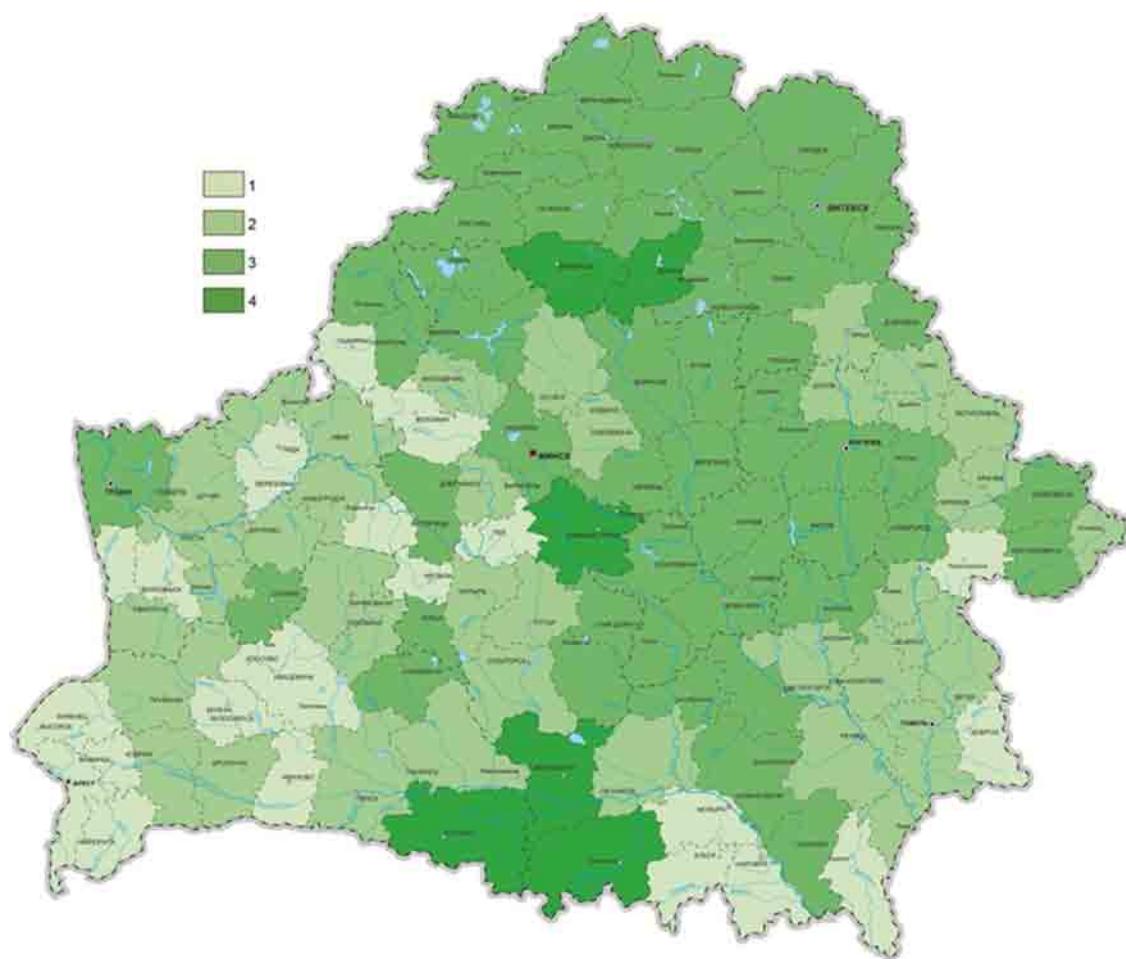


Рис. 3. Обеспеченность административных районов Беларуси торфяным сырьем для комплексного производства: 1 – низкая; 2 – повышенная; 3 – высокая; 4 – очень высокая

**Fig. 3. Provision of administrative districts of Belarus with raw peat for integrated production:
1 – low; 2 – increased; 3 – high; 4 – very high**

Административные районы с высоким уровнем обеспеченности запасами торфа для организации комплексного производства занимают территорию Центральноберезинской равнины на западе Могилевской области и востоке Минской области. Максимальная обеспеченность в центральной Беларуси в пространственном отношении привязана к Осиповичскому району, где расположен ряд крупных торфяных болот, в том числе Птичье, Сутино, Поречский Мох, Ореховский Мох, Клетишинское. В Полесье выделяются три административных района, расположенные на границе Гомельской и Брестской областей, с очень высокой обеспеченностью торфяным сырьем для комплексного производства: Лельчицкий, Житковичский и Столинский. В их границах расположены следующие крупные болотные геосистемы: Ольманские Болота, Булав Мох, Межч, Кандель-Яловец-Ольхово, Топиловское, Морочно.

С учетом природных границ торфяных областей, проведенных А. П. Пидопличко [17], нами предложена следующая схема районирования территории Беларуси по обеспеченности торфяным сырьем для комплексного производства (рис. 4):

1. Позерская область с высокой обеспеченностью торфяным сырьем для создания производств по комплексной глубокой переработке.
2. Центральноберезинская область с высокой обеспеченностью торфяным сырьем для организации комплексного производства продукции из торфа.
3. Неманская область с низкой обеспеченностью торфяным сырьем для комплексного производства.
4. Сожская область с повышенной обеспеченностью торфяным сырьем для комплексного производства.
5. Полесская область с общей повышенной обеспеченностью торфяным сырьем для комплексного производства в составе трех подобластей:
 - A. Западнополесская подобласть с низкой обеспеченностью торфяным сырьем для комплексного производства.
 - B. Центральнополесская подобласть с высокой обеспеченностью торфяным сырьем для комплексного производства.
 - C. Восточнополесская подобласть с повышенной обеспеченностью торфяным сырьем для комплексного производства.

Из приведенного рис. 4 и табл. 1 видно, что многие административные районы имеют очень высокую и высокую обеспеченность торфом разного типа и подходят для создания предприятий по комплексной переработке торфяного сырья. При этом наибольшая обеспеченность характерна для Позерской и Центральноберезинской областей. В Полесской области на фоне общей повышенной обеспеченности торфом, пригодным для комплексной переработки, была выделена Центральнополесская подобласть с высокой обеспеченностью торфяным сырьем, подходящим для комплексного освоения. Наименьшая обеспеченность приходится на Неманскую область, где всего четыре района, имеющие повышенную обеспеченность торфом, пригодным для комплексной переработки.

При производстве ряда продуктов комплексной переработки торфа важным дополнительным источником полезных свойств выпускаемой продукции может стать сапропель. Особенно эффективно использовать сапропель как попутное сырье при добыче торфа, когда он залегает на разрабатываемых или выбывших из эксплуатации торфяных месторождениях. Предыдущими исследованиями показано, что добыча сапропеля на выбывших из эксплуатации участках добычи торфа является более предпочтительным с энергетических позиций, чем освоение озерных месторождений [18].

По материалам Государственного геологического фонда сапропели определены в 1260 торфяных болотах из 4400, на которые имеются первичные фондовые материалы разведки или практически в каждом третьем объекте. Распределение торфяных болот, начинавших свое развитие с озерной стадии по областям республики, отличается неравномерностью. В Могилевской области озерную стадию прошло лишь одно месторождение из десяти, в Гродненской, Минской и Гомельской – приблизительно каждое пятое торфяное болото имеет в основании торфяных разрезов озерные осадки, в Брестской области – каждое третье. Больше всего древних мелководных озер, со временем превратившихся в болото, выявлено в Витебской области, где 54 % торфяных месторождений подстилается сапропелями. В зависимости от ландшафтной обстановки в пределах каждой области наблюдаются существенные различия в темпах заболачивания водоемов.

Средняя площадь сапропелевых залежей на торфяных месторождениях, как правило, меньше 100 га и лишь в Брестской области она заметно выше, однако средняя мощность озерных осадков под торфом здесь невелика – всего 0,64 м при средней для всех месторождений республики 1 м. Повышенными темпами заилиения древних озер отличаются Витебская и Гродненская области,

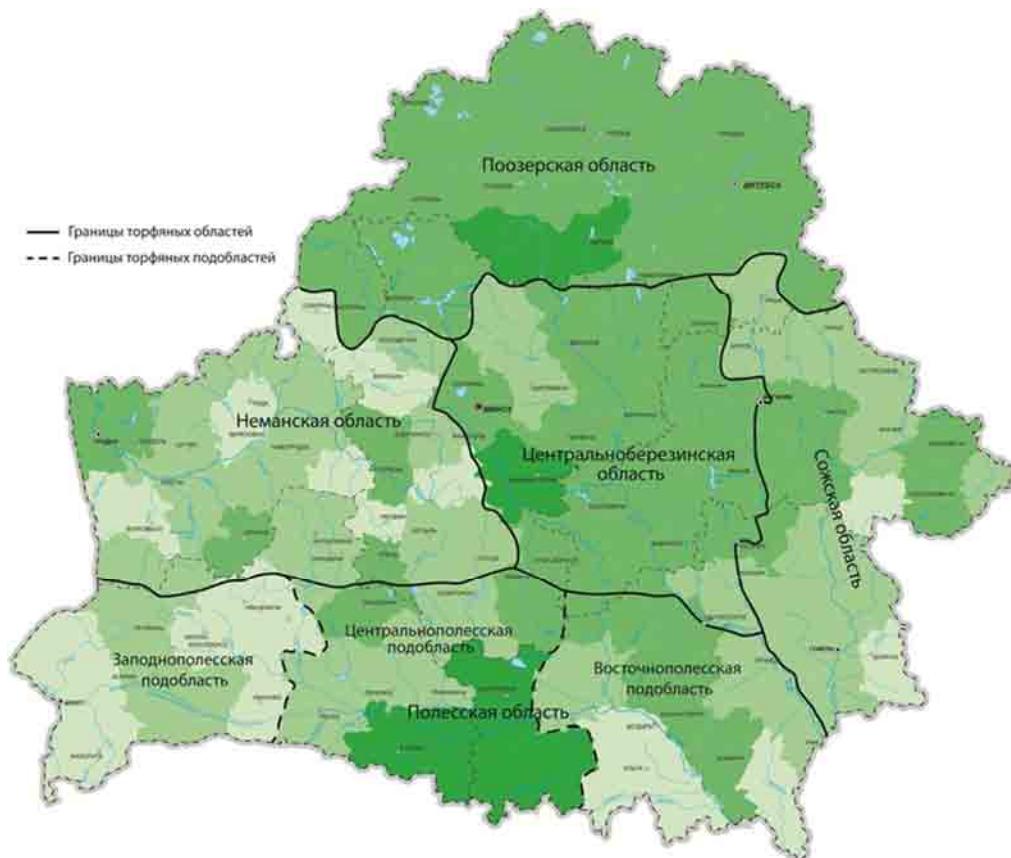


Рис. 4. Карта-схема районирования территории Беларуси по обеспеченности торфяным сырьем для комплексного производства: Пooзерская область с высокой обеспеченностью; Неманская область с низкой обеспеченностью; Центральноберезинская область с высокой обеспеченностью; Сожская область с повышенной обеспеченностью; Западнополесская подобласть с низкой обеспеченностью; Центральнополесская подобласть с высокой обеспеченностью; Восточнополесская подобласть с повышенной обеспеченностью торфяным сырьем для комплексного производства.

Условные обозначение те же, что и на рис. 3

Fig. 4. Schematic map of the regionalization of the territory of Belarus for raw peat supply for integrated production: Poozersk region with high provision; Neman region with low provision; Central Berezina region with high provision; Sozh region with increased provision; West Polessya subregion with low provision; Central Polessya subregion with high provision; East Polessya subregion with increased supply of peat raw materials for integrated production. For the conventional signs of peat supply, see fig. 3

где средние расчетные мощности сапропеля под торфом равны 1,16 и 1,26 м соответственно. Разведанные общие ресурсы сапропеля под торфяными залежами составляют 1127 млн м³, или 653 млн т. Установлено также, что ресурсы сапропеля на торфяных месторождениях размещены по территории республики более равномерно, чем озерного сапропеля. Имеется только три административных района (Чериковский, Мозырский, Ельский) без разведанных запасов сапропеля под торфом, тогда как в 34 районах отсутствуют озера с ресурсами озерного сапропеля.

Сапропель под торфом характеризуется пониженной средней влажностью – 78 %. В озерным сапропеле она заметно выше и составляет 87 %. В Витебской области, где сосредоточено больше всего торфяных месторождений с сапропелем, зольность последнего ниже, чем в современных озерах. В других областях наблюдается обратная картина распределения зольности за счет больших запасов минерализованного карбонатного сапропеля, залегающего под торфом. Установлено, что типологический состав сапропеля под торфом более сбалансирован, чем озерного сапропеля, так как запасы кремнеземистого, органического и карбонатного типов здесь практически равны и составляют соответственно 32, 29 и 27 % общих запасов осадков с данными условиями залегания. Объем смешанного сапропеля несколько меньше, чем других типов и составляет 12 %. В озерах 1720 млн м³, или 64 % сосредоточенных здесь ресурсов приходится на кремнеземистый сапропель (рис. 5) [19].

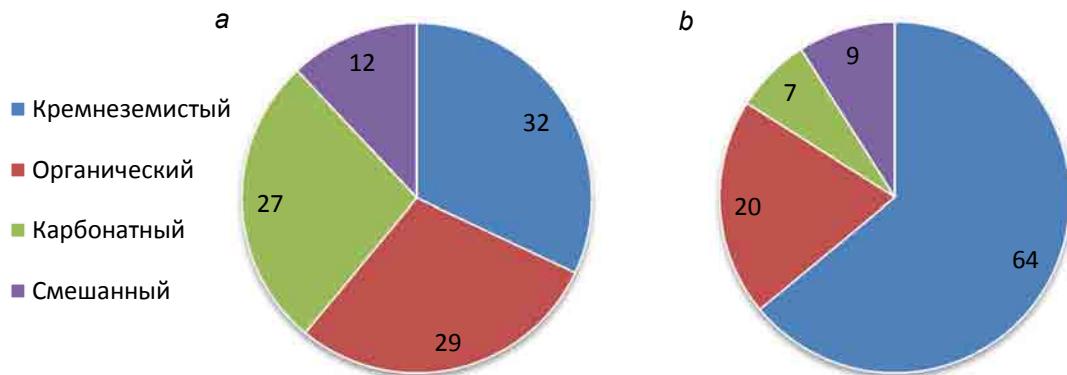


Рис. 5. Типологический состав сапропеля озер (а) и торфяных месторождений (б), % от общих запасов

Fig. 5. Typological composition of lake's sapropel (a) and peat deposit's sapropel (b),% of total reserves

Общая площадь выработанных и находящихся в эксплуатации торфяных месторождений Беларуси составляет около 230 тыс. га. Определено 487 перспективных для разработки сапропеля торфяных месторождений. Из них 96 относится к категории весьма перспективных (64 таких участка расположены в Витебской области). 155 участков с сапропелем относятся к категории перспективных и 236 определены как условно перспективные для добычи сапропелевого сырья. Площадь залежи озерных отложений на перспективных для добычи сапропеля выработанных участках оценивается в 59,2 тыс. га при средней мощности сапропелевых осадков около 1 м. Объем сапропеля здесь составляет 574 млн м³, или почти 352 млн т, а извлекаемые запасы – приблизительно 110 млн т.

Распределение ресурсов сапропеля на перспективных для их освоения разрабатываемых и выработанных торфяных месторождениях по областям представлено в табл. 1.

Совмещенная карта-схема районирования территории Беларуси по обеспеченности торфяным сырьем для комплексного производства и районов размещения весьма перспективных и перспективных площадей для добычи залегающего на торфяных месторождениях сапропеля представлена на рис. 6.

Как следует из рис. 6, наибольшее количество участков повышенной концентрации сапропеля представлено в Поозерской и Центральноберезинской областях. В последней области Осиповичский и рядом расположенные районы, имеющие очень высокую и высокую обеспеченность торфом, пригодным для комплексной переработки, располагают также значительными участками с повышенной концентрацией ресурсов сапропеля. В непосредственной близости от южных районов Поозерской области с очень высокой обеспеченностью торфом, пригодным для комплексной переработки, располагаются площади с повышенной концентрацией ресурсов сапропеля на эксплуатируемых и выбывших из эксплуатации торфяных месторождениях, которые сосредоточены на запад, север и восток от данных перспективных торфяных районов. Поозерская и Центральноберезинская области относятся к регионам с весьма благоприятными условиями для создания производств по комплексной глубокой переработке торфа и сапропеля.

В пределах Центрально-Белорусской подобласти на стыке Брестской и Гомельской административных областей, где выделены районы с очень высокой обеспеченностью торфом, пригодным для комплексной переработки, перспективные для освоения месторождения сапропеля под торфом практически отсутствуют, однако на север от них в непосредственной близости имеется площадь залегания перспективных для освоения месторождений сапропеля под торфом. В Сожской области основные районы с высокой обеспеченностью торфяными ресурсами включают площади с запасами кондиционного сапропеля на выбывших из эксплуатации торфяных месторождениях. Поэтому эти регионы относятся к областям с удовлетворительными условиями для создания производств по комплексной переработке торфа и сапропеля.

Значительные по площади участки с повышенной концентрацией ресурсов сапропеля на выбывших из эксплуатации торфяных месторождениях находятся в ЗападноБелорусской подобласти и в Неманской области, однако здесь малые запасы торфяного сырья для выпуска продукции комплексного назначения. В Восточно-Белорусской подобласти невелики запасы как торфа, так и сапропеля для создания производств по комплексной переработке. В связи с этим эти регионы относятся к плохим по условиям создания крупных предприятий по комплексной переработке торфа и сапропеля.

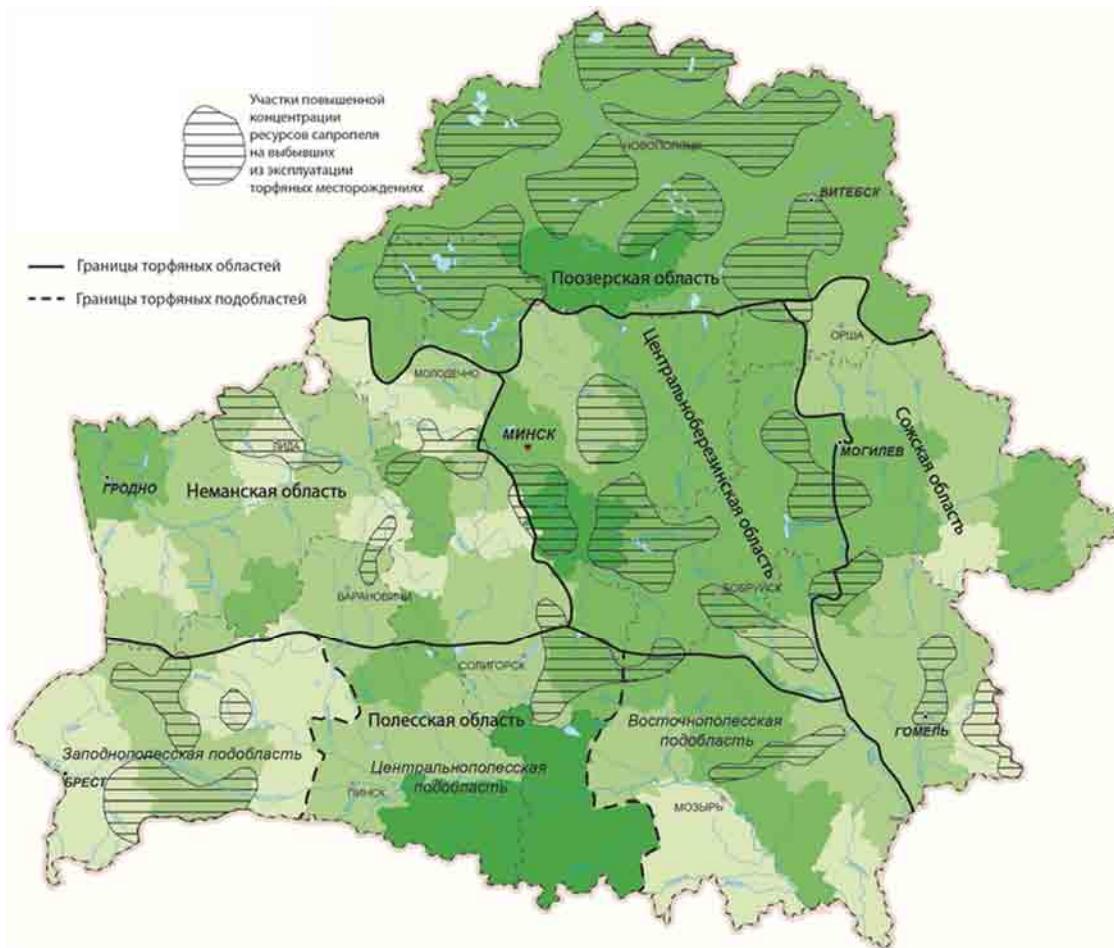


Рис. 6. Карта-схема районирования территории Беларуси по возможности создания производств по комплексной переработке торфа и сапропеля: Поозерская область с благоприятными условиями для создания производств; Неманская область с плохими условиями; Центральноберезинская область с благоприятными условиями; Сожская область с удовлетворительными условиями; Западнополесская подобласть с плохими условиями; Центральнополесская подобласть с удовлетворительными условиями; Восточнополесская подобласть с плохими условиями для создания производств по комплексной переработке торфа и сапропеля. Условные знаки те же, что и на рис. 3

Fig. 6. Schematic map of the regionalization of the territory of Belarus for possible the establishment of production for the complex processing of peat and sapropel: Poozersk region with favorable conditions for the creation of industries; Neman region with poor conditions; Central Berezina region with favorable conditions; Sozh region with satisfactory conditions; West Polessya subregion with poor conditions; central Polessya subregion with satisfactory conditions; East Polessya subregion with poor conditions for the creation of industries for the integrated processing of peat and sapropel. For the conventional signs of peat supply, see fig. 3

Заключение. Таким образом, для районирования территории Беларуси пригодности и объему запасов торфа и залегающего совместно с ним сапропеля для выпуска продукции комплексного назначения разработаны критерии по оценке торфосапропелевых ресурсов болотных геосистем для организации крупных производств по комплексной глубокой переработке органогенного сырья.

В качестве основного показателя для оценки перспективности торфяных ресурсов для комплексной глубокой переработки в пределах административного района определена повышенная обеспеченность запасами верхового, переходного и низинного торфа, а также его качественное разнообразие, определяемое по суммарному количеству категорий торфяного сырья. Показателями пригодности ресурсов сапропеля на торфяных месторождениях для выпуска продукции комплексного назначения является повышенная мощность и объем запасов, соответствие техническим условиям на различные виды продукции из сапропеля, а также степень сработки залегающего сверху торфа.

Установлено, что из 118 административных районов республики только 21 район не подходит для создания предприятий по глубокой комплексной переработке торфа, а около половины районов

(58 из 118) имеют очень высокую и высокую обеспеченность торфом разного типа, на сырьевой базе которых имеется перспектива создания крупных предприятий по комплексной переработке торфяного сырья.

Составлена карта-схема районирования территории Беларуси по обеспеченности торфяным сырьем для комплексного производства. Пространственный анализ карты-схемы показывает, что только Неманская область и Западнополесская подобласть Полесской области не располагают достаточными ресурсами торфа для организации крупных производств по его глубокой переработке. Участки повышенной концентрации сапропеля на выработанных из эксплуатации торфяных месторождениях представлены во всех выделенных торфяных областях и подобластях. В целом следует отметить, что наилучшее сочетание запасов торфа и сапропеля характерно для Поозерской и Центральнонеберезинской областей. Указанные торфяные области можно рассматривать как наиболее перспективные для создания предприятий по комплексной переработке торфяного и сапропелевого сырья.

Список использованных источников

1. Лиштван, И. И. Научно-прикладные исследования в области топливного использования торфа / И. И. Лиштван, Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2014. – Вып. 25. – С. 164–171.
2. Государственная программа «Торф» на 2008–2010 годы и на период до 2020 года. – Минск, 2014. – 219 с.
3. Пресс-релизы / Министерство энергетики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minenergo.gov.by/category/press-release/>. – Дата доступа: 26.10.2017.
4. Качественные характеристики композиционных топливных гранул на основе торфа низкой степени разложения / Б. В. Курзо [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 24. – С. 173–178.
5. Получение новых видов топлива на основе торфа / Б. В. Курзо [и др.] // Новости науки и технологий. 2013. – № 1–2 (24–25). – С. 50–55.
6. Krakoweczkij, A. V. Kratkiy obzor novykh perspektivnykh produktov iz torfa / A. V. Krakoweczkij // Prirodopользование: sostoyaniye i perspektivy razvitiya: materialy nauch. konf. molodykh uchenykh, Minsk, 26–27 marta 2014 g. – Minsk, 2014. – C. 44–46.
7. Tomson, A. E. Torf i produkty ego pererabotki / A. E. Tomson, G. V. Naumova. – Minsk, 2009. – 328 s.
8. Novaia kormovaia dobavka na osnove torfa i effektivnost' ee primeneniya v zhivotnovodstve / V. N. Zajac [i dr.] // Prirodopользование : sб. nauch. tr. – 2009.– Minsk, 2009. – Вып. 16. – С. 236–240.
9. Ocenka torfa mestorozhdeniya «Turshovka-Chertovo» kak сырья для глубокой комплексной переработки / I. I. Lishitvan [i dr.] // Prirodopользование : sб. nauch. tr. – 2016.– Minsk, 2016. – Вып. 30. – С. 113–123.
10. Effektivnost' novykh zashchitnykh past dlya obmazki stebel' tomatov i ogurcov protiv seroy gnilii / I. A. Prischepa [i dr.] // Zaщита растений. – 2004. – Вып. 28. – С. 145–150.
11. Povesti nauchno-issledovatel'skie raboty po vozmozhnosti polucheniya v opytno-promyshlennnykh mashtabakh produktov glubokoy pererabotki torfa iz torfyanogo сырья mestorozhdeniya «Turshovka-Chertovo» s razrabotkoy nauchno-tehnicheskogo obosnovaniya celesoobraznosti stroitel'stva gorno-khimicheskogo kombinata po glubokoy kompleksnoy pererabotke torfa : otchet o NIP (zakлюч.) / Naц. akad. nauk Belarusi, Inst. prirodopользования ; ruk. I. I. Lishitvan. – Minsk, 2015. – № GP 20150234.
12. Tюремнов, С. Н. Торфяные месторождения / С. Н. Тюремнов. – М., 1976. – 488 с.
13. Кадастровый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР» : в 6 т. – Минск : Управ. Гос. торф. фонда при Госплане БССР, 1979. – 1628 с.
14. Методические указания по опробованию торфяной залежи с применением сборных проб и разделению запасов торфа на категории сырья при разведке торфяных месторождений. – М., 1979. – 80 с.
15. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск, 1975. – 320 с.
16. СТБ 17.04.02-01-2010. Охрана окружающей среды и природопользование. Недра. Сапропель. Промышленно-генетическая классификация / Введен в действие постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 01.12.2010 № 75. – Минск, 2010. – 6 с.
17. Пидопличко, А. П. Торфяные месторождения Белорусской ССР / А. П. Пидопличко. – Минск, 1961. – 192 с.
18. Курзо, Б. В. Энергозатраты при разработке сапропелевых месторождений / Б. В. Курзо, О. М. Гайдукевич, Л. П. Пекач // Природопользование : сб. науч. тр. – 2001. – Минск, 2001. – Вып. 7. – С. 107–109.
19. Сопоставительный анализ ресурсов и типологического состава сапропеля озер и торфяных месторождений на территории Беларуси / Б. В. Курзо [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – 2005. – Минск, 2005. – Вып. 11. – С. 232–238.

R e f e r e n c e s

1. Lishtvan I. I., Kurzo B. V., Gajdukevich O. M. *Nauchno-prikladnye issledovaniya v oblasti toplivnogo ispol'zovaniya torfa* [Applied scientific research in the field of fuel peat usage]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2014, vol. 25, pp. 164–171.
2. *Gosudarstvennaja programma «Torf» na 2008–2010 gody i na period do 2020 goda* [The state program "Peat" for 2008–2010 and for the period until 2020]. Minsk, 2014, 219 p.
3. *Press-relyzy. Ministerstvo energetiki Respubliki Belarus'* [Press releases. Ministry of Energy Republic of Belarus]. Available at: <http://minenergo.gov.by/category/press-release/> (Accessed 26 October 2017).
4. Kurzo B. V., Zhukov V. K., Zdanovich P. A., Gajdukevich O. M., Klyauzze I. V. *Kachestvennye kharakteristiki kompozicionnyh toplivnyh granul na osnove torfa nizkoj stepeni razlozhchenija* [Qualitative characteristics of composite fuel granules on the basis of low-decomposition peat rate]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2013, vol. 24, pp. 173–178.
5. Kurzo B. V., Zhukov V. K., Zdanovich P. A., Gajdukevich O. M., Lis L. S., Kljauzze I. V. *Poluchenie novykh vidov topliva na osnove torfa* [Obtaining of new fuels on the peat basis]. *Novosti nauki i tekhnologij = News of science and technologies*, 2013, no. 1–2 (24–25), pp. 50–55.
6. Krakovetski A. V. *Kratkij obzor novykh perspektivnykh produktov iz torfa* [Brief review of new promising products from peat]. *Materialy nauch. konf. Molodyykh uchenykh "Prirodopol'zovanie: sostojanie i perspektivy razvitiya"* [Materials of the research Conf. young scientists "Nature management: state and prospects of development"]. Minsk, 2014, pp. 44–46.
7. Tomson A. Em., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and products of its processing]. Minsk, 2009, 328 p.
8. Zajac V. N., Kvetkovskaja A. V., Nadarinskaja M. A., Galushko O. G., Naumova G. V., Tomson A. Em., Makarova N. L., Ovchinnikova T. F. *Novaja kormovaja dobavka na osnove torfa i effektivnost' ee primenenija v zhivotnovodstve* [New feed additive based on peat and its effectiveness in animal husbandry]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2009, vol. 16, pp. 236–240.
9. Lishtvan I. I., Mulyarchik V. V., Tomson A. Em., Kurzo B. V., Naumova G. V., Zhmakova N. A., Tsaruk T. Y., Sokolova T. V., Makarova N. L., Ovchinnikova T. F., Sosnovskaya N. E., Pehtereva V. S., Navosha U. U., Kalilets L. P., Falushina I. P. *Ocenka torfa mestorozhdenija "Turshovka-Chertovo" kak syr'ja dlja glubokoj kompleksnoj pererabotki* [The estimation of peatland "Tyrshovka-Chertovo" as a raw material for deep complex proceeding]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2016, vol. 30, pp. 113–123.
10. Prishchepa I. A., Zherdeckaja T. N., Gorbunov A. K. *Efffektivnost' novykh zashchitnykh past dlja obmazki stebley tomata i ogurca protiv seroj gnili* [The effectiveness of new protective paste to cover the stems of the tomatoes and the cucumbers against Botrytis]. *Zashchita rastenij = Protection of plants*, Minsk, 2004, rel. 28, pp. 145–150.
11. *Provesti nauchno-issledovatel'skie raboty po vozmozhnosti poluchenija v optyno-promyshlenniyh masshtabakh produktov gluboko pererabotki torfa iz torfjanogo syr'ja mestorozhdenija «Turshovka-Chertovo» s razrabotkoj nauchno-tehnicheskogo obosnovanija celesoobraznosti stroitel'stva gorno-khimicheskogo kombinata po glubokoj kompleksnoj pererabotke torfa: otchet o NIR (zakljuch.)* [To conduct research work on obtaining a pilot-scale deep processing of peat from the peat raw material of peatland "Tyrshovka-Chertovo" with the development of scientific and technical study of the feasibility of construction of mining and chemical plant for deep complex processing of peat: research report (concluded.)], under the direct. of I. I. Lishtvan [et al.]. Institut prirodopol'zovaniya NAN Belarusi [Institute for Nature Management, National Academy of Sciences]. Minsk, 2014, no. SR 20150234.
12. Tjuremnov S. N. *Torfjanye mestorozhdenija* [Peatlands]. Moscow, 1976, 488 p.
13. *Kadastrovyy spravochnik "Torfjanoy fond Belorusskoy SSR"* v 6 t. [Cadastral reference book "Peat Fund of the Belorussian SSR" in 6 vol.]. Upravlenie Gosudarstvennogo torfjanogogo fonda pri Gosplane BSSR [Department of the State Peat Fund under the State Planning Committee of the BSSR]. Minsk, 1979, 1628 p.
14. *Metodicheskie ukazaniye po oprobovaniyu torfjanoy zalezhi s primenением sbornykh prob i razdeleniju zapasov torfa na kategorii syr'ja pri razvedke torfjonykh mestorozhdenij* [Methodical instructions for testing a peat deposit using collection samples and separation of peat reserves into categories of raw materials in the exploration of peatlands]. Moscow, 1979, 80 p.
15. Lishtvan I. I., Korol' N. T. *Osnovnye svojstva torfa i metody ikh opredelenija* [Basic properties of peat and methods for their determination]. Minsk, 1975. 320 p.
16. STB 17.04.02-01-2010. *Okhrana okruzhayushchej sredy i prirodopol'zovanie. Nedra. Sapropel'. Promyshlennogeneticheskaja klassifikacija* [Standard of Belarus 17.04.02-01-2010. Environmental protection and nature management. Subsoil. Sapropel. Industrial-genetic classification]. Minsk, 2010, 6 p.
17. Pidoplichko A. P. *Torfjanye mestorozhdenija Belorusskoy SSR* [Peatlands of the Byelorussian SSR]. Minsk, 1961, 192 p.
18. Kurzo B. V., Gajdukevich O. M., Pekach L. P. *Energozatraty pri razrabotke sapropelevykh mestorozhdenij* [Energy consumption during the development of sapropel deposits]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Insti-*

tute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management", Minsk, 2001, vol. 7, pp. 107–109.

19. Kurzo B. V., Gajdukevich O. M., Kljauzze I. V., Grinchik E. N. *Sopostavitel'nyj analiz resursov i tipologicheskogo sostava sapropelja ozer i torfjanых mestorozhdenij na territorii Belarusi* [Comparative analysis of resources and typological composition of sapropel of lakes and sapropel of peatlands in Belarus]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2005, vol. 11, pp. 232–238.

Информация об авторах

Курзо Борис Валентинович – д-р техн. наук, зав. лаб. использования и охраны торфяных и сапропелевых месторождений, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kurs@ecology.basnet.by

Краковецкий Александр – мл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: krakovecav@gmail.com

Information about the authors

Boris V. Kurzo – D.Sc. (Technical), 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

Aleksandr V. Krakovetsky – 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: krakovecav@gmail.com

ГЕОТЕХНОЛОГИИ. ДОБЫЧА, ПЕРЕРАБОТКА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

GEOTECHNOLOGY. EXTRACTION, PROCESSING AND THE USE OF SOLID FUEL MINERALS

УДК 622.7+631.417.1

Поступила в редакцию 02.04.2018
Received 02.04.2018

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ТОРФА ПЕРЕД ЭКСТРАКЦИЕЙ ГУМИНОВЫХ ВЕЩЕСТВ

Н. Н. Бамбалов, Л. Ю. Тищенко, Г. П. Бровка, Г. А. Соколов

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Научно обоснована целесообразность предварительной гидродинамической кавитационной обработки водной суспензии торфа перед экстракцией гуминовых веществ (ГВ), обеспечивающая сокращение продолжительности обработки суспензии торфа гидроксидом натрия в реакторе со 120 до 45 мин и технологического цикла экстракции – со 120 до 85 мин за счёт диспергирования сырья. Под воздействием гидродинамической кавитационной обработки водной суспензии торфа повышается выход гуминовых веществ за счёт преобразования промежуточных продуктов гумификации, находящихся в составе негидролизуемого остатка, в гуминовые кислоты, что в совокупности обеспечивает улучшение технологических показателей производства ГВ из торфа: снижение удельных расходов сырья, воды, гидроксида натрия и времени на получение 1 кг гуминовых веществ.

Ключевые слова: торф; гуминовые вещества; кавитация.

Для цитирования. Бамбалов Н. Н., Тищенко Л. Ю., Бровка Г. П., Соколов Г. А. Технологическая эффективность гидродинамической кавитационной обработки торфа перед экстракцией гуминовых веществ // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 190–197.

TECHNOLOGICAL EFFECTIVENESS OF THE HYDRODYNAMIC CAVITATION TREATMENT OF PEAT BEFORE HUMIC SUBSTANCE EXTRACTION

N. N. Bambalov, L. U. Tishenko, G. P. Brovka, G. A. Sokolov

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

Abstract. The expediency of the preliminary hydrodynamic cavitation treatment of an aqueous peat suspension prior to the extraction of humic substances (HS) is scientifically grounded, providing the shortening of the processing time of a peat suspension with sodium hydroxide in the reactor from 120 to 45 minutes and an extraction technological cycle from 120 to 85 min due to raw materials dispersion. Under the influence of the hydrodynamic cavitation treatment of the aqueous suspension of peat, the output of humic substances increases due to the transformation of the intermediate humification products contained in the non-hydrolysable residue into humic acids, which together provides an improvement in the technological parameters of the production of HS from peat: a reduction in the specific consumption of raw materials, water, sodium hydroxide and time for obtaining 1 kg of humic substances.

Key words: peat; humic substances; cavitation.

For citation. Bambalov N. N., Tishenko L. U., Brovka G. P., Sokolov G. A. Technological effectiveness of the hydrodynamical cavitional treatment of peat before humic substance extraction. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 190–197.

Кавитационные технологии широко используются в процессах переработки растительного сырья, молока, древесины, нефти, твердых ископаемых топлив, а также в производстве лакокрасочных материалов и других отраслях. Кавитационные технологии позволяют получать высококачественные пищевые и биологически активные вещества, эмульсии и суспензии, например, овощные и фруктовые соки, пюре, пасты, гомогенизированное и восстановленное молоко, крахмал, пектин, амилопектин, танин, мази, кремы, лекарственные вещества, вытяжки и экстракти из сырья растительного и животного происхождения [1–8].

Кавитационные технологии обеспечивают сокращение продолжительности химических реакций в 10–1000 раз, снижение энергозатрат и металлоемкости в 2–10 раз, повышение эффективности процессов синтеза и тепломассообмена в 2–10 раз, повышение производительности реакторов-смесителей – в 1,5–50,0 раз, поэтому достигаются высокие прибыли в тех технологических отраслях, где применяются испарение, экстракция, крекинг, эмульгирование, суспенсирование, аэрирование, флотация, химический синтез в жидкой фазе и др. [5–9].

Кавитационное воздействие на суспензию торфа представляет собой единый комплекс химических и гидродинамических процессов. Пиковье повышения давления и ударные волны, образующиеся при кавитации, приводят к ускоренному диспергированию торфа вплоть до образования наночастиц, а вода распадается на радикалы водорода и гидроксила, активно взаимодействующие с органическими компонентами торфа. Растворение гуминовых веществ происходит в щелочной среде в результате мгновенно протекающей реакции обмена ионов водорода карбоксильных групп на одновалентные катионы, однако процесс экстракции ГВ из торфа осуществляется в течение двух и более часов из-за медленно протекающих процессов диффузии катионов в торфяные частицы к молекулам ГВ и диффузии гуматов из частиц торфа в раствор. Под воздействием гидродинамической кавитационной обработки достигается высокая степень диспергирования торфяных частиц, поэтому процесс экстракции ГВ ускоряется в несколько раз по сравнению с их извлечением щелочами без кавитационной обработки [10], а взаимодействие ГВ с продуктами диссоциации воды позволяет модифицировать их химический состав и молекулярную структуру [11–15], в результате чего получают гуминовые препараты с существенно более высоким уровнем физиологической активности [15]. Вместе с тем пока не вполне ясно, как влияет кавитационная обработка сырья на скорость экстракции и выход ГВ из торфа разных типов, на удельные расходы сырья, реагентов и энергии.

Цель работы – оценить технологическую эффективность гидродинамической кавитационной обработки суспензии торфа при экстракции ГВ гидроксидом натрия.

Объекты и методы исследования. Влияние гидродинамической кавитационной обработки суспензии торфа на изменение группового состава органического вещества и выход ГВ исследовали на примере типичных видов торфяного сырья, добывшего фрезерным способом, из торфяных месторождений Радемье (верховой тип) и Гало-Ковалевское (низинный тип), являющихся сырьевыми базами ОАО «Зеленоборское» и торфобрикетного завода «Минскоблгаз» соответственно. Верховой пущево-сфагновый торф имел степень разложения 25–30 % и величину pH 3,1, низинный древеснотростниковый торф имел степень разложения 35 %, pH 5,6.

Кавитационную обработку водной суспензии торфа проводили на кавитационной установке, изготовленной НПО «Центр». Для приготовления суспензии на 1 кг торфа 40 %-ной влажности добавляли 3,5 кг воды. В процессе кавитационной обработки периодически отбирали пробы суспензии для изучения динамики выхода ГВ. К каждой пробе добавляли сухой гидроксид натрия до достижения 2 %-ной концентрации и реакционную смесь нагревали при 96–98 °C (кипящая водяная баня) в течение 2 ч, поскольку данные условия экстракции обеспечивают наибольший выход ГВ из торфа [16, 17].

Согласно данным табл. 1, для торфяного сырья ОАО «Зеленоборское» продолжительность предварительной гидродинамической кавитационной обработки водной суспензии торфа может быть ограничена 40 мин, так как к этому времени переход ГК в щелочной раствор стабилизируется на уровне 36 %. Полученные данные согласуются с результатами [10], показавшими, что увеличивать продолжительность кавитационной обработки торфа с 40 до 90 мин нецелесообразно, так как выход ГВ из сырья не возрастал или уменьшался, вероятно, за счет конденсационных процессов с выпадением в осадок части целевого продукта. В связи с этим дальнейшие исследования выполнены с суспензией торфа, прошедшей 40-минутную кавитационную обработку.

Таблица 1. Влияние продолжительности гидродинамической кавитационной обработки водной суспензии пущево-сфагнового торфа на выход ГВ, ГК и ФК при экстракции 2 %-ным раствором гидроксида натрия при 96–98 °C в течение 2 ч

Table 1. Influence of the duration of the hydrodynamic cavitation treatment of the aqueous suspension of cotton grass-sphagnum peat on the yield of HS, HA and FA by extraction with the 2 % solution of sodium hydroxide at 96–98 °C for 2 hours

Продолжительность кавитационной обработки, мин	ГВ, %	ГК, %	ФК, %	ГК/ФК
0	32,2 ± 0,38	19,7 ± 0,18	12,5 ± 0,14	1,6
10	32,3 ± 0,42	20,0 ± 0,26	12,3 ± 0,16	1,6
20	40,2 ± 0,52	31,3 ± 0,41	8,9 ± 0,12	3,5
30	44,0 ± 0,57	33,7 ± 0,44	10,3 ± 0,13	3,3
40	46,0 ± 0,61	36,3 ± 0,47	10,3 ± 0,13	3,5
50	47,4 ± 0,62	36,5 ± 0,47	10,9 ± 0,14	3,3

Гидродинамическое кавитационное воздействие на водную супензию торфа в течение 10 мин не повлияло на выход и состав ГВ, но уже после 20-минутной кавитационной обработки произошло увеличение выхода ГВ с 32,2 до 40,2 %, в том числе ГК с 20 до 31,3, а соотношение между ГК и ФК возросло с 1,6 до 3,5 %. Выход ГК из торфа под воздействием кавитационной обработки возрастал во времени до 40 мин, после чего стабилизировался на уровне 36 %, а выход ФК снизился с 12,5 до 10,3–10,9 %, поэтому соотношение ГК/ФК после 20-минутной обработки практически не изменялось, оставаясь в пределах 3,3–3,5. В результате кавитационной обработки водной супензии в течение 20–50 мин, произошло не только повышение выхода ГВ из торфа, но и обогащение их ГК.

Из данных табл. 2 видно, что увеличение выхода ГК под воздействием кавитационной обработки сырья происходит за счёт преобразования продуктов неполной гумификации, находящихся в составе негидролизуемого остатка (НГО) торфа, предположительно за счёт реакций окислительно-гидролитической деструкции. При кавитационной обработке материалов в водных средах окислительно-гидролитические реакции весьма распространены, так как образующиеся при распаде воды гидроксильные радикалы являются активными окислителями, реагирующими практически со всеми веществами, а реакции окисления протекают по радикальному механизму [6]. Известно, что в составе НГО торфа содержатся ГВ, нерастворимые в щелочи, и представляющие собой продукты неполной гумификации растений-торфообразователей с небольшим количеством карбоксильных групп и большими молекулярными массами [18]. Под воздействием гидродинамической кавитационной обработки сначала окисляются и частично деструктируются высокомолекулярные продукты неполной гумификации растений-торфообразователей, а затем, обогащённые карбоксильными группами за счёт окисления, они переходят в щелочной экстракт в виде дополнительного количества ГК [14].

Доказано, что экстракция ГВ из торфа гидроксидом натрия и водным аммиаком наиболее эффективна при 96–98 °C в течение 2 ч, повышение или уменьшение температуры и/или продолжительности экстракции ведёт к снижению выхода ГК [16, 17]. В течение 40-минутной кавитационной обработки температура супензии торфа повышается до 32–63 °C (в зависимости от температуры окружающей среды). Однако такой температуры недостаточно для достижения полноты извлечения ГВ, поэтому целесообразно получать ГВ по двухэтапной технологии: первый этап – гидродинамическая кавитационная обработка супензии торфа в течение 40 мин, осуществляемая в кавитаторе, после чего супензия торфа перекачивается в реактор для осуществления второго этапа – экстракции 2 %-ным раствором гидроксида натрия при температуре 96–98 °C и атмосферном давлении. Водная супензия торфа из кавитатора поступает в реактор уже подогретой до температуры в среднем 40–45 °C, поэтому затрат энергии на разогрев щелочной супензии торфа в реакторе требуется меньше по сравнению с вариантом без предварительной кавитационной обработки сырья. При изучении динамики извлечения гуминовых веществ до и после кавитационной обработки водной супензии было экспериментально обосновано, что продолжительность щелочной экстракции ГК из торфа в реакторе после 40-минутной кавитационной обработки сырья можно сократить до 45 мин вместо рекомендемых 120 мин без кавитационной обработки [10].

Таким образом, результаты наших исследований обосновывают целесообразность применения гидродинамической кавитационной обработки водной супензии торфяного сырья до начала экстракции гуминовых веществ. Это позволяет значительно сократить продолжительность щелочной экстракции в реакторе и увеличить выход целевого продукта из сырья за счет преобразования продуктов неполной гумификации, находящихся в составе негидролизуемого остатка, в ГВ. Общий расход времени на выдерживание щелочного раствора ГВ (кавитационная обработка + экстракция щелочью) при 96–98 °C составляет 85 мин вместо рекомендованных 120 мин без кавитационной обработки.

Таблица 2. Изменение группового состава органического вещества в результате 40-минутной кавитационной обработки водной супензии торфа, % к органическому веществу

Table 2. Change of the group content of organic substance as the result of 40-minute cavitation proceeding the aqueous suspension of peat, % to organic substance

Группа органических веществ	Низинный древесно-тростниковый торф, R = 35 %, торфяное месторождение Гало-Ковалевское		Верховой магелланум-торф, R = 15–20 %, торфяное месторождение Радемье	
	без кавитационной обработки	после кавитационной обработки	без кавитационной обработки	после кавитационной обработки
ВР	0,4 ± 0,05	1,1 ± 0,04	0,8 ± 0,03	2,0 ± 0,06
ГВ	31,4 ± 0,41	58,3 ± 0,76	24,2 ± 0,31	48,1 ± 0,63
ГК	27,4 ± 0,36	50,2 ± 0,65	19,8 ± 0,26	41,2 ± 0,54
ФК	4,0 ± 0,05	8,1 ± 0,11	4,4 ± 0,06	6,9 ± 0,09
ЛГ	16,7 ± 0,13	14,8 ± 0,12	26,6 ± 0,21	23,3 ± 0,19
ТГ	13,7 ± 0,11	12,0 ± 0,10	19,8 ± 0,16	17,4 ± 0,14
НГО	37,8 ± 0,57	13,8 ± 0,21	28,6 ± 0,43	9,2 ± 0,14

Здесь не учтено время, необходимое на разогрев супензии до 96–98 °С, так как оно зависит от температуры окружающей среды и в каждом конкретном случае различно. Оно будет одинаково как для контрольного, так и для опытного вариантов, поэтому на сравнительную оценку эффективности кавитационной обработки супензии торфа не влияет.

Эффективность способа получения ГВ из торфа с кавитационной обработкой сырья и без нее оценивали по показателям расхода сырья, реагентов и тепла на получение 1 кг ГВ в пересчете на сухое вещество, а также по выходу целевого продукта за один технологический цикл работы реактора.

В табл. 3 представлены данные о расходе торфяного сырья, воды и гидроксида натрия для получения целевого продукта за один технологический цикл работы реактора емкостью 1,6 м³. Без кавитационной обработки из 167 кг сырья (торф 40 %-ной условной влажности) ОАО «Зеленоборское» получается 32,2 кг ГВ в пересчете на сухое вещество, а после кавитационной обработки – 46,0 кг; из сырья торфобрикетного завода «Минскоблгаз» – 31,4 и 58,3 кг соответственно. За счет предварительной кавитационной обработки водной супензии торфа дополнительный выход ГВ из сырья ОАО «Зеленоборское» составил 13,8 кг, из сырья «Минскоблгаз» – 26,9 кг.

При расчете затрат энергии на производство ГВ в течение одного технологического цикла работы реактора руководствовались методическим подходом, разработанным Г. П. Бровкой и В. В. Смирновой [19, 20]. Для расчёта затрат энергии на разогревание супензии в реакторе до температуры 96–98 °С в качестве начальной температуры супензии в контролльном варианте была принята 20 °С, а в варианте с кавитационной обработкой – 40 °С, поэтому в варианте без кавитационной обработки температуру супензии потребовалось увеличить на 80 °С, а после кавитационной обработки – только на 60 °С. Затраты энергии на выдерживание супензии торфа при 96–98 °С также были различны, потому что без кавитационной обработки данная температура в реакторе поддерживалась в течение 120 мин, а после кавитационной обработки – только 45 мин.

В табл. 4 представлены данные о расходе энергии на экстракцию ГВ, из которых видно, что в одном производственном цикле работы реактора без кавитационной обработки сырья затраты энергии составляют 386,56 МДж, а с использованием гидродинамической кавитационной обработки – 554,83 МДж, из которых затраты энергии на кавитационную обработку супензии составили 278,60 МДж. После гидродинамической кавитационной обработки произошло снижение затрат энергии на нагревание супензии и поддержание её температуры с 386,56 МДж до 276,23 МДж за счёт сокращения продолжительности процесса экстракции ГВ со 120 мин без кавитационной обработки до 45 мин с кавитационной обработкой. При оценке расхода энергии не учитывали ее затраты, не связанные с технологическим циклом (освещение, отопление цеха, потери тепла через теплоизоляционные покрытия труб, реактора, емкостей и др.), так как в обоих сравниваемых вариантах технологии они были одинаковые. В расчетах учитывались только прямые расходы энергии, связанные с экстракцией ГВ.

Данные табл. 5 показывают значительное преимущество технологии с кавитационной обработкой водной супензии торфа перед экстракцией по сравнению с прямым извлечением ГВ из торфа щелочным реагентом без кавитационного воздействия: для сырья ОАО «Зеленоборское» удельный расход торфа 40 %-ной влажности снизился с 5,18 до 3,63 кг/кг, воды – с 29,00 до 20,30 кг/кг, гидроксида натрия – с 0,62 до 0,43 кг, времени – с 3,70 до 1,80 мин/кг; для сырья торфобрикетного завода «Минскоблгаз» удельный расход торфа 40 %-ной влажности снизился с 5,30 до 2,86 кг/кг, воды – с 29,7 до 16,0 кг/кг, гидроксида натрия – с 0,64 до 0,34 кг, времени – с 3,82 до 1,46 мин/кг. При этом за один технологический цикл выход ГВ увеличился на 13,8 кг из сырья ОАО «Зеленоборское» и на 26,9 кг из сырья торфобрикетного завода «Минскоблгаз».

Таблица 3. Расход торфа, реагентов и выход ГВ из торфа низинного и верхового типа при одном технологическом цикле работы реактора, кг

Table 3. The consumption of peat, reagents and HS output from peat of low and high type during one technological cycle of reactor operation, kg

Сырьё/реагент/продукт	Без кавитационной обработки	После кавитационной обработки
<i>Масса</i>		
Сухое вещество торфа	100	100
Торф 40 %-ной влажности	167	167
Вода, внесенная с торфом	67	67
Технологическая вода	933	933
Гидроксид натрия	20	20
Щелочная супензия	1120	1120
<i>Выход сухих ГВ из сырья</i>		
ОАО «Зеленоборское»	32,2	46,0
ТБЗ «Минскоблгаз»	31,4	58,3

Таблица 4. Расчет энергозатрат на экстракцию ГВ из торфа в одном технологическом цикле работы реактора до и после кавитационной обработки, МДж

Table 4. The calculation of energy costs for the extraction of HS from peat in one technological cycle of reactor operation before and after cavitation treatment, MJ

Расход энергии	Без кавитационной обработки (120 мин)	После кавитационной обработки (45 мин)
На нагревание		
100 кг сухого торфа	15,29	11,47
20 кг гидроксида натрия	0,02	0,02
1000 кг воды	334,72	251,04
На поддержание температуры 1120 кг суспензии торфа в течение процесса экстракции	36,53	17,78
На кавитационную обработку суспензии торфа	0	278,60
Суммарный (в одном технологическом цикле экстракции ГВ)	386,56	558,91

Таблица 5. Удельный расход сырья, реагентов, тепла и времени на экстракцию 1 кг сухих ГВ из сырья, добытого на торфяных месторождениях Радемье и Гало-Ковалевское

Table 5. The unit expenditure of raw materials, reagents, heat and time for the extraction of 1 kg of dry HS from raw materials extracted from Rademje and Galo-Kovalevskoye peat deposits

Статья оценки	Торф пущицово-сфагновый, R = 25–30 %, торфяное месторождение Радемье		Торф древесно-тростниковый, R = 35 %, торфяное месторождение Гало-Ковалевское	
	без кавитационной обработки	после кавитационной обработки	без кавитационной обработки	после кавитационной обработки
Выход ГВ, кг	32,2	46,0	31,4	58,3
Расход:				
сухого торфа, кг/кг	3,10	2,14	3,18	1,72
торфа 40 %-ной влажности, кг/кг	5,18	3,58	5,30	2,86
гидроксида натрия, кг/кг	0,62	0,43	0,64	0,34
воды, кг/кг	29,0	20,3	29,7	16,0
тепла, МДж/кг	12,13	12,15	12,32	9,59
Затраты времени, мин/кг	3,70	2,34	3,82	1,46

Увеличение выхода конечного продукта компенсировало расход энергии на кавитационную обработку сырья ОАО «Зеленоборское» и обусловило практически одинаковый расход энергии на производство 1 кг ГВ в пересчёте на сухое вещество: 12,13 и 12,15 МДж соответственно без кавитационной обработки и с обработкой. Кавитационная обработка торфяного сырья торфобрикетного завода «Минскоблгаз» обеспечила ещё больший дополнительный выход ГВ в расчёте на сухое вещество, поэтому удельный расход энергии снизился с 12,32 Мдж/кг без кавитационной обработки до 9,59 МДж/кг после кавитационной обработки.

Таким образом, существенные различия показателей сравниваемых технологий обусловлены сокращением продолжительности получения конечного продукта за счёт гидродинамической кавитационной обработки сырья перед экстракцией ГВ и увеличением выхода целевого продукта. Полученные результаты в совокупности обосновывают целесообразность кавитационной обработки водной суспензии торфа перед экстракцией ГВ. Технологическая эффективность данного способа вполне очевидна.

Выводы

1. Предварительная гидродинамическая кавитационная обработка водной суспензии торфа сокращает продолжительность нагревания суспензии торфа в реакторе со 120 до 45 мин и технологического цикла экстракции – со 120 до 85 мин за счёт диспергирования сырья и повышает выход ГВ за счёт преобразования промежуточных продуктов гумификации, находящихся в составе негидролизуемого остатка, в ГК, что в конечном итоге обеспечивает улучшение технологических показателей производства ГВ из торфа.

2. Научно обоснована кавитационная технология получения ГВ из торфа, обеспечивающая для сырья: ОАО «Зеленоборское» увеличение выхода целевого продукта за один технологический цикл работы реактора – с 32,2 до 46,0 кг, снижение удельного расхода воды – с 29,00 до 20,30 кг/кг, гидроксида натрия – с 0,62 до 0,43 кг/кг, торфа 40 %-ной влажности – с 5,18 до 3,63

кг/кг, времени – с 3,70 до 1,80 мин/кг ГВ; торфобрикетного завода «Минскоблгаз» выход целевого продукта – с 31,4 до 58,3 %, снижение удельного расхода воды с 29,7 до 16,0 кг/кг, гидроксида натрия – с 0,64 до 0,34 кг/кг, торфа 40 %-ной влажности – с 5,30 до 2,86 кг/кг, времени – с 3,82 до 1,46 мин/кг ГВ.

3. Затраты энергии на экстракцию 1 кг сухого вещества ГВ из сырья ОАО «Зеленоборское» до и после кавитационной обработки были практически одинаковы – 12,13 и 12,15 МДж, из сырья торфобрикетного завода «Минскоблгаз» существенно уменьшились – с 12,32 Мдж и 9,59 Мдж, что объясняется генетическими особенностями сырья, обусловившими разную величину выхода целевого продукта.

Список использованных источников

1. Кардашев, Г. А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии / Г. А. Кардашев. – М. : Химия, 1990. – 208 с.
2. Костяной, А. Н. Глубокая переработка твердого ископаемого топлива / А. Н. Костяной // Тез. докл. Рос. науч. конф. – М. : МГУ, 2007. – С. 37.
3. Способ получения растительного экстракта : пат. 2279283 Россия, МПК 7 А 61 К 36/00 / А. Д. Поверин, Д. И. Поверин ; ООО НПО БИОИНДУСТРИЯ. № 2005100574/15 ; заявл. 14.01.2005 ; опубл. 10.07.2006.
4. Промтov, М. А. Кавитационная технология улучшения качества углеводородных топлив / М. А. Промтov // Хим. и нефтегазовое машиностроение. – 2008. – № 2. – С. 6.
5. Промтov, М. А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества : учеб. пособие / М. А. Промтov. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 136 с.
6. Промтov, М. А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов / М. А. Промтov // Вестн. Том. гос. ун-та. – 2008. – Т. 14, № 4. – С. 861–869.
7. Рождественский, В. Н. Кавитация / В. Н. Рождественский. – Л. : Судостроение, 1977. – 248 с.
8. Федоткин, И. М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности / И. М. Федоткин, И. С. Гулый. – Киев : ОКО, 2000. – Ч. II. – 898 с.
9. Способ подготовки растительного сырья с получением пектинсодержащих продуктов : пат. 2210250 Россия, МПК 7 А 23 L 1/0524 / Агаев Нариман Мусаевич, Агаев Фарид Нариман оглы. № 2002104962/13 ; заявл. 27.02.2002 ; опубл. 20.08.2003.
10. Цвирко, Л. Ю. Динамика экстракции гуминовых веществ из торфа до и после кавитационной обработки в водной среде / Л. Ю. Цвирко, Н. Н. Бамбалов, Г. А. Соколов // Природопользование : сб. науч. ст. – Минск, 2017. – Вып. 31. – С. 131–135.
11. Ефанов, М. В. Получение оксигуматов натрия из торфа / М. В. Ефанов, А. И. Галочкин, П. П. Черненко // Химия твердого топлива. – 2008. – № 2. – С. 24–28.
12. Ефанов, М. В. Оксилительный аммонолиз торфа в условиях кавитационной обработки / М. В. Ефанов, В. А. Новоженов, В. Н. Франкиский // Химия растительного сырья. – 2010. – № 1. – С. 165–169.
13. Соколов, Г. А. Изменение молекулярно-массового распределения гуминовых кислот в процессе гидродинамической кавитации торфяной суспензии / Г. А. Соколов, А. Д., Константинова, В. В. Смирнова, // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук. – 2009. – № 3. – С. 123–124.
14. Влияние кавитационной обработки торфа на содержание функциональных групп в гуминовых кислотах / Л. Ю. Цвирко [и др.] // Природопользование. – 2013. – Минск, 2013. – Вып. 24. – С. 156–160.
15. Цифанскис, С. Кавитационные технологии получения гуминовых веществ и их использование / С. Цифанскис, О. Куайнис. – Рига : Латв. ин-т гуминовых веществ, 2015.
16. Бамбалов, Н. Н. Влияние температуры экстракции гуминовых веществ на их выход из торфа / Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Решетник // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. хим. наук. – 2012. – № 4. – С. 116–120.
17. Бамбалов, Н. Н. Экстракция гуминовых веществ из торфа водным аммиаком / Н. Н. Бамбалов, В. В. Смирнова, А. С. Немкович // Проблемы природопользования: итоги и перспективы : сб. материалов Междунар. науч. конф. к 80-летию Ин-та природопользования. – Минск, 2012. – С. 15–18.
18. Ефимов, В. Н. Торфяные почвы / В. Н. Ефимов. – М. : Россельхозиздат, 1980. – 120 с.
19. Показатели процесса экстракции гуминовых веществ из торфа при различных условиях / Н. Н. Бамбалов [и др.] // Процессы и средства добычи и переработки полезных ископаемых : сб. трудов Междунар. науч.-техн. конф., Минск, БНТУ, 17–20 апр. 2012 г. – Минск, 2012. – С. 76–81.
20. Влияние условий экстракции гуминовых веществ из торфа на удельные затраты реагентов и тепла / Н. Н. Бамбалов [и др.] // Природопользование сб. науч. ст. – Минск, 2010. – Вып. 18. – С. 177–184.

References

1. Kardashev G. A. *Fizicheskie metody intensifikacii processov himicheskoy tekhnologii* [Physical methods of intensification of processes of chemical technology]. Moscow, 1990, 208 p.
2. Kostyanoy A. N. *Glubokaya pererabotka tverdogo iskopаемogo topliva* [Deep processing of solid fossil fuels]. *Tez. dokl. Rossiskoj nauchnoj konf.* Moscow, 2007, p. 37.

3. Poverin A. D., Poverin D. I. *Sposob polucheniya rastitel'nogo ekstrakta* [Method for obtaining a plant extract]. Patent Russia, no. 2279283, 2006.
4. Promtov M. A. *Kavitacionnaya tekhnologiya uluchsheniya kachestva uglevodorodnyh topliv* [Cavitation technology for improving the quality of hydrocarbon fuels]. *Himicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie = Chemical and Petroleum Engineering*, 2008, no. 2, p. 6.
5. Promtov M. A. *Mashiny i apparaty s impul'snymi ehnergeticheskimi vozdejstviyami na obrabatyvaemye veshchestva* [Machines and apparatus with pulsed energy effects on processed substances]: ucheb. posobie. Moscow, 2004, 136 p.
6. Promtov M. A. *Perspektivy primeneniya kavitacionnyh tekhnologij dlya intensifikacii himiko-tehnologicheskikh processov* [Prospects of applying cavitation technologies for intensification of chemical-technological processes]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Tomsk State University Journal*, 2008, vol. 14, no 4, pp. 861–869.
7. Rozhdestvenskij V. N. *Kavitaciya* [Cavitation]. Leningrad, 1977, 248 p.
8. Fedotkin I. M. *Kavitaciya, kavitacionnaya tekhnika i tekhnologiya, ih ispol'zovanie v promyshlennosti* [Cavitation, cavitation technology and technology, their use in industry]. CH. II. Kiev, 2000, 898 p.
9. Agaev N. M., Agaev F. N. oglj. *Sposob podgotovki rastitel'nogo syr'ya s polucheniem pektinsoderzhashchih produktov* [A method for preparing vegetable raw materials to produce pectin-containing products]. Patent Russia, no. 2210250, 2003.
10. Cvirko L. YU., Bambalov N. N., Sokolov G. A. *Dinamika ekstrakcii guminovyh veshchestv iz torfa do i posle kavitacionnoj obrabotki v vodnoj srede* [Dynamics of extraction of humic substances from peat before and after cavitation treatment in an aqueous medium]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2017, vol. 31, pp. 131–135.
11. Efanov M. V., Galochkin A. I., Chernenko P. P. *Poluchenie oksigumamatov natriya iz torfa* [Obtaining oxigumates of sodium from peat]. *Himiya tverdogo topliva = Solid state chemistry*, 2008, no 2, pp. 24–28.
12. Efanov M. V., Novozhenov V. A., Frankivskij V. N. *Okislitel'nyj ammonoliz torfa v usloviyah kavitacionnoj obrabotki* [Oxidative ammonolysis of peat under conditions of cavitation treatment]. *Himiya rastitel'nogo syr'ya = Chemistry of plant raw materials*, 2010, no. 1, pp. 165–169.
13. Sokolov G. A., Konstantinova A. D., Smirnova V. V. *Izmenenie molekuljarno-massovogo raspredeleniya guminovyh kislot v processe gidrodinamicheskoy kavitacii torfyanoy suspenzii* [The change in the molecular weight distribution of humic acids in the process of hydrodynamic cavitation of peat suspension]. *Vesti NAN Belarusi. Seriya himicheskikh nauk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical Series*, 2009, no. 3, pp. 123–124.
14. Cvirko L. YU., Smirnova V. V., Parmon S. V., Bambalov N. N., Sokolov G. A. *Vliyanie kavitacionnoj obrabotki torfa na soderzhanie funkcionarnykh grupp v guminovyh kislotah* [Effect of cavitation processing of peat on the content of functional groups in humic acids]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2013, vol. 24, pp. 156–160.
15. Cifanskis S., Kukajnis O. *Kavitacionnye tekhnologii polucheniya guminovyh veshchestv i ih ispol'zovanie* [Cavitation technologies for obtaining humic substances and their use], Latvijiskij institut guminovyh veshchestv. Riga, 2015.
16. Bambalov N. N., Smirnova V. V., Reshetnik A. S. *Vliyanie temperatury ekstrakcii guminovyh veshchestv na ih vyhod iz torfa* [Influence of temperature of extraction of humic substances on their output from peat]. *Vesti NAN Belarusi. Ser. him. navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Chemical Series*. 2012, no. 4, pp. 116–120.
17. Bambalov N. N., Smirnova V. V., Nemkovich A. S. *Ehkstrakciya guminovyh veshhestv iz torfa vodnym ammiakom* [Extraction of humic substances from peat with aqueous ammonia]. *Materialy mezhdunar. nauch. konf. k 80-letiyu Instituta prirodopol'zovaniya "Problemy prirodopol'zovaniya: itogi i perspektivy"* [Proc. of the Int. Scientific Conf. to the 80th Anniversary of the Institute for Nature Management 'Problems of Nature Management: Results and Perspectives'], Minsk, 2012, pp. 15–18.
18. Efimov V. N. *Torfyanye pochvy* [Peat soils]. Moscow, 1980, 120 p.
19. Bambalov N. N., Smirnova V. V., Nemkovich A. S., Brovka G. P. *Pokazateli processa ekstrakcii guminovyh veshchestv iz torfa pri razlichnyh usloviyah* [Indicators of the process of extraction of humic substances from peat under various conditions]. Sb. trudov Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Processy i sredstva dobychi i pererabotki poleznyh iskopayemyh". Minsk, 17–20 April, 2012, pp. 76–81.
20. Bambalov N. N., Smirnova V. V., Reshetnik A. S., Brovka G. P. *Vliyanie usloviy ekstrakcii guminovyh veshchestv iz torfa na udel'nye zatraty reagentov i tepla* [Influence of conditions of extraction of humic substances from peat on specific costs of reagents and heat]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, 2010, vol. 18, pp. 177–184.

Информация об авторах

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

Тищенко Л. Ю. – мл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: liliya_cvirko@mail.ru

Бровка Геннадий Петрович – д-р техн. наук, зав. лаб. физико-химической механики природных дисперсных систем, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: brovka_gp@rambler.ru

Соколов Геннадий Алексеевич – канд. с.-х. наук, вед. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: agrico@ecology.basnet.by

Information about the authors

Nikolai N. Bambalov – Academician, D.Cs. (Agricultural), 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: humico@ecology.basnet.by

Lilia U. Tishenko – 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: liliya_cvirko@mail.ru

Gennadiy P. Brovka – D.Sc. (Technical), Head of Lab. of Physical-Chemical Mechanics of Natural Disperse Systems, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: brovka_gp@rambler.ru

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, Republic of Belarus). E-mail: agrico@ecology.basnet.by

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ВЕРХОВОГО ТОРФА, СФОРМИРОВАННОГО В РАЗЛИЧНЫХ ГЕОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

А. Э. Томсон¹, А. С. Орлов², С. Б. Селянина², В. П. Стригуцкий¹,
Т. В. Соколова¹, В. С. Пехтерева¹, Н. Е. Сосновская¹, М. В. Труфанова²,
Т. И. Пономарева², О. Н. Ярыгина², И. Н. Зубов²

¹Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь;

²ФБГУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
имени академика В. П. Лаверова РАН, Архангельск, Россия

Аннотация. На основе экспериментально полученных и литературных данных выполнен сравнительный анализ группового компонентного состава органической части торфа, сформированного в разных геоклиматических зонах Российской Федерации и Республики Беларусь. Выявлен ряд характерных особенностей трансформации органического вещества в условиях Севера, в частности снижение показателя глубины гумификации и достаточно выраженное преобладание фульватного типа гумусообразования. Установлено наличие особых климатических воздействий как фактора, влияющего на формирование группового химического состава торфа. Показано, что в условиях северных территорий с учетом глубины промерзания торфяной залежи окислительные режимы и кинетика процессов гумификации органического вещества торфа в верхних и нижних слоях может существенно отличаться, чем объясняется проявляющаяся немонотонность изменения характеристик торфа с глубиной залегания. Выявлено влияние битумной составляющей на процесс гумификации органической части в ходе торфонакопления. Оно обусловлено, прежде всего, торможением формирования систем полисопряжения, являющихся основным структурным фактором гуминовых веществ. Экспериментально подтверждена ключевая роль окислительных процессов при гумификации компонентов растений-торфообразователей.

Ключевые слова: верховой торф; групповой химический состав; органическое вещество; торфяная залежь; торфогенный слой; гумификация; геоклиматические условия; надмолекулярная структура; системы полисопряжения; парамагнитные центры (ПМЦ).

Для цитирования. Томсон А. Э., Орлов А. С., Селянина С. Б., Стригуцкий В. П., Соколова Т. В., Пехтерева В. С., Сосновская Н. Е., Труфанова М. В., Пономарева Т. И., Ярыгина О. Н., Зубов И. Н. Сравнительный анализ органической части верхового торфа, сформированного в различных геоклиматических условиях. – 2018. – № 1. – С. 198–207.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ORGANIC PART OF RAISED PEAT, FORMED IN DIFFERENT GEOCLIMATIC CONDITIONS

А. Е. Tomson¹, А. С. Orlov², С. В. Seljanina², В. П. Strigutsky¹,
Т. В. Sokolova¹, В. С. Pehtereva¹, Н. Е. Sosnovskaya¹, М. В. Tryfanova²,
Т. И. Ponomarjova², О. Н. Yaryigina², I. N. Zybov²

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

²FBGUN FRC for Comprehensive Arctic Studies named after academician V. P. Laverov of the RAS,
Arkhangelsk, Russia

Abstract. On the base of experimentally obtained and published data, the comparative analysis of the group component composition of the organic part of peat formed in different geoclimatic zones of the Russian Federation and the Republic of Belarus was carried out. A number of characteristic features of the transformation of organic matter under conditions of North, in particular, a decrease in the depth of humification and the fairly pronounced predominance of the fulvate type of humus formation have been revealed. The presence of special climatic influences as a factor influencing the formation of the group chemical composition of peat is established. It is shown that in the conditions of northern territories, taking into account the depth of freezing of the peat deposit, the oxidation regimes and kinetics of the processes of humification of the organic matter of peat in the upper and lower layers can differ substantially, which explains the apparent nonmonotonicity of the change in peat characteristics with the depth of occurrence. The effect of the bitumen component on the process of the humification of an organic part during peat accumulation is revealed. It is caused, first of all, by the inhibition of the formation of polyconjugation systems, which are the main structural factor of humic substances. The key role of oxidation processes in the humification of plant-growth agent components has been experimentally confirmed.

Key words: raised peat; group chemical composition; organic substance; peat deposit; peat layer; humification; geoclimatic conditions; supramolecular structure; polyconjugation systems; paramagnetic centers (PMC).

For citation. Tomson A. E., Orlov A. S., Seljanina S. B., Strigutsky V. P., Sokolova T. V., Pehtereva V. S., Sosnovskaya N. E., Tryanova M. V., Ponomarjova T. I., Yarygina O. N., Zybov I. N. Comparative analysis of the organic part of raised peat, formed in different geoclimatic conditions. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 198–207.

Введение. Территории Евро-Арктической зоны РФ вследствие избыточного увлажнения и холодного климата отличаются высокой заболоченностью. Доля торфяных болот и заболоченных (мелкооторфованных) земель достигает 30 % [1].

Торф наследует от болотных растений в первую очередь компоненты и структурные фрагменты [2]. С одной стороны, торф сохраняет в себе определённое соотношение фрагментов разной степени сохранности исходной растительной группировки, образующих макроструктуру (структуру переплетений). С другой стороны, в процессе биотрансформации одновременно происходят минерализация – распад наиболее биодоступных компонентов растительных тканей (белков, жиров и углеводов) до простых веществ (углекислого газа и воды), и гумификация – образование новых высокомолекулярных соединений – гумусовых кислот [3, 4]. Все эти процессы играют ключевую роль в ходе торфообразования и способствуют образованию сложной многокомпонентной, полидисперсной, капиллярно-пористой системы, включающей в себя и полизлектролиты [5, 6].

Торф как один из основных компонентов болотных экосистем принимает активное участие в глобальном круговороте углерода и выполняет геобарьерные функции [6, 7]. Кроме того, он представляет собой значимый сырьевой ресурс как медленно возобновляемые органические ископаемые [8]. Преимущественно торф рассматривается как источник энергии. Учитывая разнообразие входящих в его состав органических веществ различной природы, более перспективной следует считать комплексную химическую переработку с получением целого ряда ценных продуктов и новых материалов [9, 10]. Как следствие, в последние годы наблюдается заметный рост числа исследований в направлении химии торфа [5, 11–16].

Биогеотрансформация органических соединений в процессе торфонакопления в условиях холодного климата протекает замедленно и растянута во времени. Это сопряжено с существенным изменением химических и микробиологических режимов, а, соответственно, и механизмов гумификации [17, 18]. Поэтому изучение торфогенеза в условиях Севера позволяет выделить и более подробно исследовать стадии процесса. Вместе с тем по данному вопросу встречаются только единичные публикации последних лет [19, 20].

Расширить представления в обозначенной области позволяет сравнительный анализ (на примере Европейского Севера России и Беларуси) стратиграфических особенностей и группового химического состава органической части верхового торфа, сформированного в различных геоклиматических условиях.

Объекты и методы исследования. В качестве объекта исследования использовали пять репрезентативных послойно усредненных образцов верхового торфа мохового типа, отобранных по глубине генетически однородной залежи 0–5, 5–20, 25–75, 75–125 и 165–215 см. Отбор проводили на территории грядово-мочажинного комплекса Иласского болотного массива (Архангельская обл., Приморский район, 64° 19' 43.3" с. ш., 40° 36' 45" в. д.), который является характерным представителем типа Прибелимorskой провинции торфянников, занимающих значительные площади в Архангельской и смежных с ней областях. Основные растения торфообразователи – сфагновые мхи: *Sphagnum magellanicum*, *Sphagnum fuscum*, *Sphagnum angustifolium* [21]. Важнейшей особенностью верховых торфянников северной части Архангельской области и, в частности, Иласского болотного массива является высокая однородность торфообразующей растительности по глубине залежи [22].

В качестве образцов сравнения использовали торф, близкий по гидрологическим условиям формирования, ботаническому составу и степени разложения торфам из залежей Беларуси и Юга Архангельской области (Кенозерский национальный парк).

Полученные образцы натурного материала предварительно высушивали до воздушно сухого состояния и просеивали на сите (размер ячеек – 2 мм). Снимки временных водных препаратов получали при помощи микроскопа Axio Scope A1 Zeiss в комплекте с цифровой камерой Canon G10.

Оценку группового компонентного состава образцов торфа проводили методом последовательной разборки с использованием растворителей различной природы. Из исходного образца последовательно выделяли: экстрактивные вещества обработкой этоксиэтаном в аппарате Сокслета, биополимеры гумусовой природы 0,1 н. раствором гидроксида натрия, легкогидролизуемые соединения 5 %-м раствором соляной кислоты, далее в полученном остатке определяли содержание лигнина Классона и трудногидролизуемых веществ. Расчёт содержания групповых компонентов проводили весовым методом по остатку [23].

Спектры ЭПР анализируемых образцов записывали одновременно с эталонным образцом на основе порошка MgO, содержащего микропримеси ионов Mn²⁺ и Cr³⁺, разработанном в Институте

природопользования НАН Беларуси. Это позволило повысить точность определения параметров сигнала ЭПР и контролировать уровень СВЧ-мощности в рабочем резонаторе прибора. Данный эталон использовался и для определения масштаба развертки между 3 и 4 компонентами сверхтонкой структуры (СТС) спектра ионов Mn^{2+} , равному 87 Гс. В случаях, когда амплитуда высокочастотной (ВЧ) модуляции выбиралась не слишком малой по сравнению с шириной линии ΔH , вводилась поправка на амплитудное уширение. Данный эталон использовался и при расчетах g-фактора, точность его определения составляла $\pm 0,0002$. По отношению амплитуд сигналов 4-й компоненты СТС Mn^{2+} и ионов Cr^{3+} контролировался уровень СВЧ-мощности, поступающей в резонатор. Первичным эталоном для определения концентрации парамагнитных центров (ПМЦ) служил витринит, число спинов в котором составляло $3,1 \cdot 10^{17}$ сп, а g-фактора – 2,0036.

Результаты и их обсуждение. Формирование торфяной залежи – длительный процесс, который занимает сотни и тысяч лет. Условия, в которых находится торф, постоянно изменяются и зависят от времени образования. В настоящее время наиболее популярной является гидротермическая гипотеза формирования торфяных залежей, согласно которой в торфяной залежи можно выделить два принципиально отличающихся слоя торфа: верхний торфогенный слой и нижний – слой консервации, границей которых является уровень колебания грунтовых вод и аэробные условия сменяются анаэробными [17]. Следует отметить, что для торфяных залежей, сформированных в условиях холодного климата Субарктики, можно выделить промежуточный слой, границами которого является уровень грунтовых вод и глубина промерзания торфяной залежи, и существует вероятность проникновения кислорода воздуха в зимний период. Для выбранных тестовых площадок в районе Илласского болотного массива и Кеназерского национального парка средний показатель уровня грунтовых вод составляет 25–30 см, уровень промерзания – 60–80 см.

По современным представлениям [17] именно в верхнем относительно молодом и биологически деятельном слое в основном и происходит преобразование растительных остатков и формирование химического состава и структуры торфа. При этом ключевую роль играют климатические факторы: температурный режим и уровень осадков, определяющие биологически активный период и окислительный режим торфогенного слоя.

Согласно экспериментальным данным (рис. 1), торф, сформированный в условиях Субарктики, отличается меньшей степенью биодеградации, чем в однотипных залежах на территориях с более теплым климатом. Микрофотоснимки демонстрируют большую сохранность растительных остатков и меньшую долю бесструктурной аморфной массы в первом случае.

Согласно гидротермической гипотезе торфообразования [17], именно в верхнем относительно молодом и биологически деятельном слое в основном и происходит преобразование растительных остатков и формирование химического состава и структуры торфа. При этом ключевую роль играют климатические факторы: температурный режим и уровень осадков, определяющие биологически активный период и окислительный режим торфогенного слоя. Так, торф, сформированный в условиях субарктического морского климата, отличается достаточно высоким содержанием фульвокислот. Для него характерны фульватный и фульватно-гуматный типы гумусообразования, а также высокое содержание негидролизуемого остатка – лигнина Классона (табл. 1).

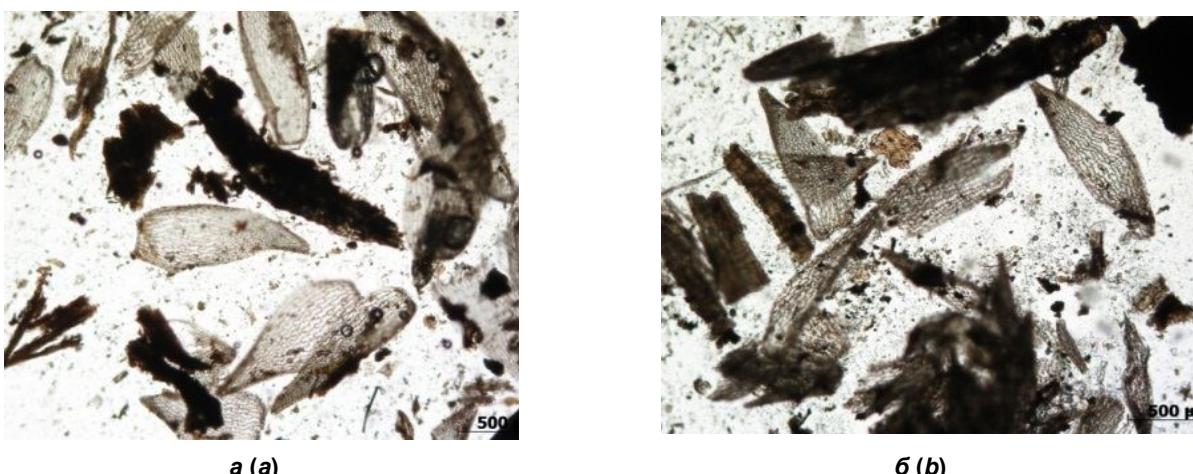


Рис. 1. Структура верхового торфа сформированного в различных климатических зонах:
а – субарктический морской климат; б – континентальный климат

Fig. 1. Structure of the raised peat formed in different climatic zones:
a – subarctic marine climate; b – continental climate

Таблица 1. Групповой состав малоразложившегося верхового торфа, сформированного в различных климатических зонах**Table 1. Group composition of slightly degraded raised peat formed in different climatic zones**

R, %	A, %	Содержание, % от органических веществ							Источник
		ЭВ	ГФК	ФК/ГК	ВРВ	ЛГВ	ТГВ	ЛК	
<i>Субарктический морской климат (Архангельская обл.)</i>									
5–10	0,8	4,7	14,3	3,5	0,4	39,3	22,1	19,7	*
<i>Умеренно-континентальный климат (Архангельская обл.)</i>									
10–15	1,8	5,2	33,4	H	H	40,9	20,5	[20]	
<i>Умеренно-континентальный климат (Центральная Россия)</i>									
10–15	H	H	13,4	2,1	H	H	H	[25]	
10–15	H	0,9	30,9	0,7	16,9	31,7	8,4	20,8	[26]
5–10	H	H	13,4	2,0	H	H	H	[25]	
5–10	H	1,0	12,3	2,3	2,6	8,3	33,6	15,5	[26]
<i>Умеренно-континентальный климат, переходный к южному (Беларусь)</i>									
15–20	5,1	4,5	43,9	3,1	0,4	16,1	4,7	30,4	*
10–15	H	4,6	35,4	1,0	7,3	42,8	8,8	6,2	[27]
10–15	1,6	H	21,3	H	H	29,1	14,6	45,1	[28]
5–10	H	4,4	12,3	H	4,5	65,8	15,8	2,0	[2]
5–10	H	1,6	13,8	H	7,4	45,5	26,0	5,7	[15]
<i>Континентальный климат (Западная Сибирь)</i>									
20–25	9,3	5,1	32,0	1,8	1,4	35,7	25,8	*	
5–10	1,6	4,2	30,9	1,3	4,0	46,8	7,6	6,5	[29]
5–10	H	4,2	29,3	H	1,4	49,5	11,0	5,9	[16]

Примечание: R – степень разложения; A – зольность; ЭВ – экстрактивные вещества; ГФК – гумусовые кислоты; ФК – фульвокислоты; ГК – гуминовые кислоты; ВРВ – водорастворимые вещества, ЛГВ – легкогидролизуемые вещества, ТГВ – трудногидролизуемые вещества; ЛК – лигнин Классона (негидролизуемый остаток); H – не указано в источнике.

* Анализ выполнен по авторской методике [23].

При этом у образцов с одинаковой степенью разложения можно отметить с повышением широтности некоторое увеличение доли фульвокислот в составе гумусовых кислот (см. табл. 1). Это свидетельствует о фульватном типе гумусообразования, что может объясняться как спецификой биосинтеза исходных растений-торфообразователей, так и особенностями биогеотрансформации растительных остатков в условиях холодного климата. Обращает на себя внимание высокое содержание в этих образцах негидролизуемого остатка, определяемого как лигнин Классона [24], достигающее значений, характерных обычно для торфа с более высокой степенью разложения.

Считается, что химический состав органической части торфа зависит в основном от его ботанического состава, степени разложения и геоклиматических условий формирования [6, 12, 17], однако даже в генетически однородной залежи он в значительной мере меняется с глубиной залегания (рис. 2). Это, по-видимому, вызвано неоднородностью окислительных и микробиологических режимов. Характерно, что отмеченные изменения достаточно ярко проявляются не только в торфогенном слое, но и на глубинах ниже зоны промерзания в анаэробных условиях.

Нелинейность перераспределения групп веществ в составе органической массы торфа с глубиной залегания, по-видимому, объясняется совместным протеканием разнонаправленных деструкционных и конденсационных окислительных процессов – гумификации и минерализации. Рассматривая отдельные группы веществ, можно выделить ряд закономерностей. Например, наблюдается достаточно выраженная тенденция роста содержания экстрактивных веществ с глубиной залегания. При этом в ходе биогеохимической трансформации изменяется не только их количественное содержание, но и качественный состав, о чем говорит постепенный переход окраски от желто-зеленої (в верхнем слое) через желтовато-коричневую до коричнево-красной в нижнем слое. Схожая тенденция отмечена нами ранее для битумов, выделенных из верхового торфа при движении от более северных территорий к более южным районам [30]. Вероятно, чем длительнее период биологической активности, тем более интенсивно протекает трансформация битумной части органического вещества торфа.

Достаточно четко проявляется симбатное изменение содержания гумусовых кислот (ГФК) и битумов (ЭВ) с глубиной залегания (рис. 2). Можно предположить, что таким образом проявляется образование систем межмолекулярного полисопряжения в первом случае и квазиполисопряжения во втором, придающих, с одной стороны, устойчивость к деградации молекулярных структур, а с другой – способствующих протеканию конденсационных процессов.

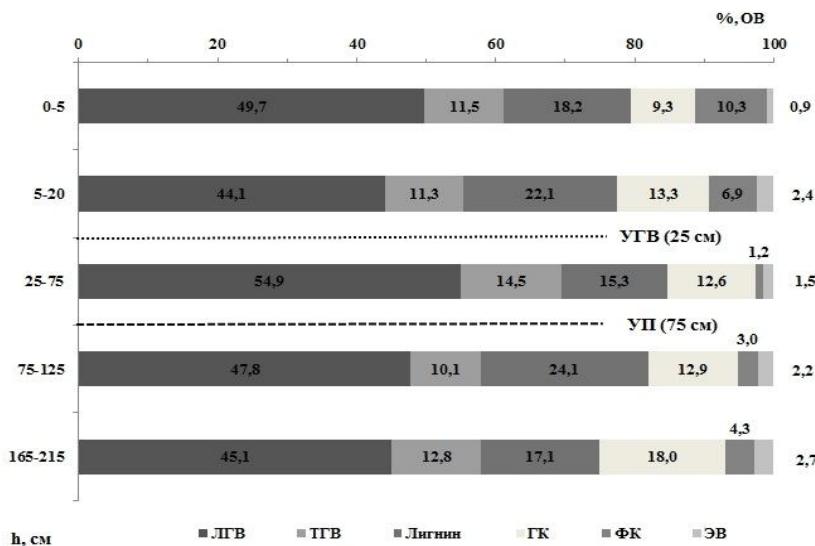


Рис. 2. Стратиграфическое распределение основных групповых компонентов в торфяной залежи верхового типа, расположенной в зоне субарктического климата

Fig. 2. Stratigraphic distribution of the main group components in the raised type of peat deposit located in the zone of the subarctic climate

Поскольку гумификация является одним из ключевых процессов трансформации растительных остатков и формирования органической части торфа, с ростом глубины залегания и степени деградации торфа можно ожидать существенных изменений в групповом составе гумусовых веществ.

Из полученных данных (см. рис. 2) видно, что вклад гуминовых кислот в суммарное содержание гумусовых кислот увеличивается при движении вглубь залежи. Однако данная тенденция охватывает лишь торфогенный слой и зону промерзания, где происходит переход от аэробных условий к анаэробным. По-видимому, процесс окислительной конденсации фенольных соединений, которые входят в состав фракции фульвокислот и могут выступать в качестве материала для синтеза гуминовых кислот, наиболее эффективно протекает в присутствии кислорода воздуха. Это позволяет сделать вывод о том, что гумусообразование в верхнем слое залежи с большей долей вероятности происходит по конденсационному механизму [31]. В отношении гумификации при недостатке или практически полном отсутствии кислорода считается [32, 33], что она протекает наиболее вероятно по механизму окислительного кислотообразования, в ходе которого происходит постепенная деградация органического вещества и «созревание» гуминовых кислот. Следует отметить, что в анаэробных условиях, т. е. в зоне консервации, существует вероятность протекания окислительно-восстановительных процессов за счет металлов с переменными валентностями, процессов нитрификации, сульфатредукции и метаногенеза в ходе жизнедеятельности анаэробных микроорганизмов. Выявленные закономерности требуют дополнительного рассмотрения.

Информативным методом характеристики подобных систем считается ЭПР-спектроскопия, поскольку парамагнетизм торфа и гуминовых кислот обусловлен не классическими свободными радикалами той или иной природы, а выигрышем энергии при формировании надмолекулярных ассоциатов вследствие синергического эффекта взаимодействия ароматических фрагментов и водородных связей функциональных групп [34]. Необычную стабильность сигнала ЭПР и высокую чувствительность его параметров к структуре полисопряженных систем обуславливает делокализация неспаренного электрона, который, в отличие от классических свободных радикалов, не находится в пределах изолированного молекулярного фрагмента. Соответственно, в рассматриваемых парамагнитных ассоциатах имеет место не миграция неспаренного электрона собственно как частицы, а делокализация его спиновой плотности [34].

Учитывая информацию о влиянии климатических условий на состав торфяных битумов [30] и их парамагнетизм [34], спектры ЭПР записывали не только у исходных, а и у обезбитуминированных образцов торфа, а также выделенных из последних гуминовых кислот (табл. 2).

Таблица 2. Влияние климатических условий и фракционирования на спектры ЭПР торфа и гуминовых кислот**Table 2. Influence of climatic conditions and fractionation on the EPR spectra of peat and humic acids**

Образец	$\Delta H_{0,1 \text{ мВт}},$ Гс	$\Delta H_{50 \text{ мВт}},$ Гс	g-фактор	$I, 10^{17} \text{ сп/г}$	A/A_0^*
<i>Субарктический морской климат (Архангельская обл.)</i>					
Исходный торф	3,1	2,8	2,0036	0,9	1,8
Торф без битумов	4,2	4,2	2,0035	3,0	2,9
Гуминовые кислоты	3,6	3,6	2,0031	3,0	1,4
<i>Умеренно-континентальный климат (Архангельская обл.)</i>					
Исходный торф	4,1	3,3	2,0035	1,6	1,6
Торф без битумов	4,1	4,4	2,0038	2,2	3,3
Гуминовые кислоты	3,9	3,9	2,0035	4,4	1,7
<i>Умеренно-континентальный климат, переходный к южному (Беларусь)</i>					
Исходный торф	3,8	3,9	2,0031	5,5	3,5
Торф без битумов	3,6	4,2	2,0035	5,2	3,6
Гуминовые кислоты	2,9	3,6	2,0033	7,8	1,6

* Отношение амплитуд сигналов, снятых при 50 и 0,1 мВт.

Следует особо отметить, что препаратами для ЭПР-спектроскопии служил торф одинаковой степени разложения ($R = 10\text{--}15\%$) и сходного ботанического состава (сфагнум торф). Принимая во внимание невысокую степень разложения исследуемых образцов верхового малозольного торфа, представляется закономерной более высокая интенсивность сигнала ЭПР гуминовых кислот по сравнению с исходным торфом. Интересно, что у образцов торфа северного региона при обезбитуминировании наблюдается повышение интенсивности и уширение сигнала ЭПР при сравнительно слабом насыщении его СВЧ-мощностью, о чем свидетельствует высокое значение параметра A/A_0 . При этом в случае субарктического морского климата фиксируется равная интенсивность сигналов ЭПР обезбитуминированного торфа и гуминовых кислот (см. табл. 2), что согласуется с упомянутыми выше особенностями его группового состава. Полученные результаты можно интерпретировать следующим образом. Торфяные битумы, оказывая обволакивающее действие на основные высокомолекулярные компоненты торфяного субстрата, препятствуют формированию «плоскостных» систем полисопряжения, с наличием которых связан в основном парамагнетизм торфа. Данные ЭПР-спектроскопии подтверждают изложенные выше представления о существенном влиянии климатических особенностей на процессы деградации исходных растений-торфообразователей. Специфичностью состава битумной части торфа, сформированного в условиях Европейского Севера РФ [30], объясняется особый эффект их воздействия на трансформацию органического вещества. Вклад битумов в процесс торфообразования обусловлен, по-видимому, их высокой обволакивающей способностью, что затрудняет межмолекулярное взаимодействие ароматических фрагментов и препятствует формированию систем полисопряжения, являющихся одним из основных структурных элементов гумусовых веществ.

Заключение. Таким образом, важнейшей отличительной особенностью верхового торфа, сформированного в условиях субарктического морского климата, является низкий показатель глубины гумификации и достаточно выраженное преобладание фульватного типа гумусообразования, что обусловлено наличием особых климатических воздействий и, в частности, промерзания залежи как фактора, оказывающего существенное влияние на формирование структуры и группового химического состава торфа. При этом окислительные режимы и кинетика процессов гумификации растительных остатков в верхних и нижних слоях залежи могут существенно отличаться.

Полученные экспериментальные результаты указывают на ключевую роль окислительно-восстановительных процессов в гумификации растительных остатков, в том числе и в анаэробной зоне.

Выявлена экранирующая роль битумов при образовании межмолекулярных агрегатов ароматических компонентов торфа, которая вносит существенный вклад при гумификации растительных остатков в ходе торфонакопления и обусловлена, прежде всего, торможением формирования структур полисопряжения, являющихся основным структурным фактором гуминовых веществ.

Список использованных источников

1. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0 / А. Иванов [и др.]. Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева Россельхозакадемии. – М., 2014. – 768 с.
2. Раковский, В. Е. Химия и генезис торфа / В. Е. Раковский, Л. В. Пигулевская. – М. : Недра, 1978. – 231 с.
3. Орлов, Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д. С. Орлов. – М. : Изд-во МГУ, 1990. – 332 с.
4. Козловская, Л. С. Динамика органического вещества в процессе торфообразования / Л. С. Козловская, В. М. Медведева, Н. И. Пьявченко. – Л. : Наука, 1978. – 172 с.
5. Куликова, М. П. Исследование химического состава торфа / М. П. Куликова, Л. Л. Куулар // Фундаментальные исследования. Сер. Химические науки. – 2013. – № 4. – С. 90–94.
6. Бамбалов, Н. Н. Баланс органического вещества торфяных почв и методы его изучения / Н. Н. Бамбалов. – Минск : Наука и техника, 1984. – 175 с.
7. Qin, F. Mechanisms of competitive adsorption of Pb, Cu, and Cd on peat / F. Qin, B. Wen, X.-Q. Shan // Environmental Pollution. – 2006. – Vol. 144. – P. 669–680.
8. Косов, В. И. Торф. Ресурсы, технологии, геоэкология / В. И. Косов. – М., 2007. – 452 с.
9. Инишева, Л. И. Концепции рационального использования торфяных ресурсов России / Л. И. Инишева, С. Г. Маслов // Химия растительного сырья. – 2003. – № 3. – С. 5–10.
10. Физико-химические характеристики процессов взаимодействия полимерной матрицы торфа с растворителями различной природы / К. Г. Боголицин [и др.] // Химия растительного сырья. – 2011. – № 4. – С. 277–282.
11. Марыганова, В. В. Изменения фракционно-группового состава гуминовых веществ и содержания индолил-3-уксусной кислоты с глубиной залегания торфа / В. В. Марыганова, Н. Н. Бамбалов, Л. В. Шайдак // Природопользование : сб. науч. ст. – 2011. – Вып. 19. – С. 180–186.
12. Бамбалов, Н. Н. Содержание лигнина в целинных и окультуренных торфяных почвах Белорусского Полесья / Н. Н. Бамбалов // Почвоведение. – 2007. – № 11. – С. 1316–1322.
13. Авакумов, Е. В. Источники и состав гумуса некоторых почв Западной Арктики / Е. В. Авакумов // Почвоведение. – 2010. – № 5. – С. 538–547.
14. Меркушина, Г. А. Исследование группового и фракционного состава гумуса верхового торфяника в гольцене / Г. А. Меркушина, С. И. Ларин, Н. С. Ларина // Вестн. Тюменского гос. ун-та. Сер. Науки о земле. – 2013. – № 4. – С. 187–198.
15. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларуская навука, 2009. – 280 с.
16. Шинкеева, Н. А. Характеристика группового состава органического вещества репрезентативных торфов таежной зоны Западной Сибири / Н. А. Шинкеева, С. Г. Маслов, В. С. Архипов // Вестн. ТГПУ. – 2009. – № 3. – С. 116–119.
17. Бамбалов, Н. Н. Роль гидротермических факторов в разложении органического вещества растений-торфообразователей / Н. Н. Бамбалов // Природные ресурсы. – 2005. – № 1. – С. 44–52.
18. К вопросу об анализе органического вещества торфа, сформированного в условиях западного сегмента Российской Арктики / Т. И. Пономарева [и др.] // Сб. науч. тр. Архангельского центра РГО. – Архангельск, 2015. – Вып. 3. – С. 5–15.
19. Компонентный состав и структурная организация торфа болотных массивов Европейского севера России / Л. Н. Парфенова [и др.] // Вестник САФУ. Сер. Естественные науки. – 2014. – № 4. – С. 143–154.
20. Influence of climatic and hydrological factors on structure and composition of peat from northern wetland territories with low anthropogenic impact / L. N. Parfenova [et al.] // Science of the Total Environment, 2016. – № 551–552. – P. 108–115.
21. Чуракова, Е. Ю. Листостебельные мхи таежной зоны Архангельской области / Е. Ю. Чуракова // Arctoa. A Journal of bryology. – 2002. КМК. – Vol. 11. – P. 352–392.
22. Соколов, О. М. Торфяные ресурсы Архангельской области и их использование / О. М. Соколов, В. Р. Ивко. – Архангельск : Изд-во АГТУ, 2000. – 37 с.
23. Методика измерений группового химического состава торфа гравиметрическим методом : свидетельство об аттестации № 88-16365-009-RA.RU.310657-2017. – Архангельск, 2017. – 20 с.
24. Оболенская, А. В. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы : учебное пособие для вузов / А. В. Оболенская, З. П. Ельницкая, А. А. Леонович. – М. : Экология, 1991. – 320 с.
25. Пономарева, В. В. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения) / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. – Л. : Наука, 1980. – 222 с.
26. Ефимов, В. Н. Торфяные почвы и их плодородие / В. Н. Ефимов. – Л. : Агропромиздат, 1986. – 264 с.
27. Тюремнов, С. Н. Торфяные месторождения / С. Н. Тюремнов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1976. – 488 с.
28. Changes in the composition of humic substances depending on the depth of peat occurrence / V. V. Maryganova, N. N. Bambalov, V. P. Strigutskii [et al.] // Solid Fuel Chemistry. 2013. – Vol. 47, № 3. – P. 153–164.
29. Архипов, В. С. Состав и свойства типичных видов торфа центральной части Западной Сибири / В. С. Архипов, С. Г. Маслов // Химия растительного сырья. – 1998. – № 4. – С. 9–16.
30. Биологически активные экстракти верхового торфа Европейского Севера России / С. Б. Селянина [и др.] // Вестн. РФФИ. – 2016. – № 1. – С. 31–37.
31. Кононова, М. М. Формирование гумуса в почве и его разложение / М. М. Кононова // Успехи микробиологии. – 1976. – Вып. 11. – С. 134–149.

32. Александрова, Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова. – Л. : Наука, 1980. – 387 с.
33. Кудеярова, А. Ю. Приложение фундаментальных положений химии к пониманию механизмов образования и трансформации гумусовых веществ / А. Ю. Кудеярова // Почвоведение. – 2007. – № 9. – С. 1048–1063.
34. Механизм стабильности торфяных битумов / А. Р. Цыганов [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларусь. Сер. хим. наук. – 2016. – № 2. – С. 98–111.

References

1. Ivanov A., Shoba S., Stolbovoy V. *Edinyiy gosudarstvennyiy reestr pochvennyih resursov Rossii*. Versiya 1.0 [Unified state registry of peat resources of Russia. Version 1.0]. Pochvennyiy in-t im. V. V. Dokuchaeva Rosselhозакадемии. Moscow, 2014, 768 p.
2. Rakovskiy V. E., Pigulevskaya L. V. *Himiya i genezis torfa* [Chemistry and genesis of peat]. Moscow, 1978, 231 p.
3. Orlov D. S. *Gumusovyie kisloty pochvi obschaya teoriya gumifikatsii* [The humus acids of peat and the general theory of humification]. Moscow, Ed-ai MSU, 1990, 332 p.
4. Kozlovskaya L. S., Medvedeva V. M., Pyavchenko N. I. *Dinamika organicheskogo veschestva v protsesse torfoobrazovaniya* [The dynamics of peat substance in the process of peat formation]. Leningrad, 1978, 172 p.
5. Kulikova M. P., Kuular L. L. *Issledovanie himicheskogo sostava torfa* [The study of the chemical content of peat]. *Fundamentalnyie issledovaniya: seriya 'Himicheskie nauki' = Fundamental studies: 'Chemical sciences' series*, 2013, no. 4, pp. 90–94.
6. Bambalov N. N. *Balans organicheskogo veschestva torfyanoy pochvi i metody ego izucheniya* [The balance of the organic substance of peat soils and the methods of their study]. Minsk, 1984, 175 p.
7. Qin F., Wen B., Shan X.-Q. *Mechanisms of competitive adsorption of Pb, Cu, and Cd on peat*. *Environmental Pollution*, 2006, V. 144, P. 669–680.
8. Kosov V. I. *Torf. Resursyi, tehnologii, geoekologiya* [Peat. Recourses, technologies, geoecology]. Moscow, 2007. 452 p.
9. Inisheva L. I., Maslov S. G. *Konseptsii ratsionalnogo ispolzovaniya torfyanoy resursov Rossii* [Concepts of rational use of peat resources of Russia]. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja = Chemistry of plant raw material*, 2003, no. 3, pp. 5–10.
10. Bogolitsin K. G., Parfenova L. N., Selyanova S. B., Trufanova M. V. *Fiziko-himicheskie harakteristiki protsessov vzaimodeystviya polimernoy matritsy torfa s rastvoritelyami razlichnoy prirody* [The physical and chemical characteristics of the processes of the cooperation of polymeric peat matrix with the solvents of different nature]. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja = Chemistry of plant raw material*, 2011, no. 4, pp. 277–282.
11. Maryganova V. V., Bambalov N. N., Shaydak L. V. *Izmeneniya fraktsionno-gruppovogo sostava guminovyih veschestv i soderzhaniya indolil-3-uksusnoy kisloty s glubinoy zaleganiya torfa* [The changes of fractional and group content of humic substances and indolyl-3-acetic acid with the depth of peat occurrence]. *Prirodopolzovanie. Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 2011, vol. 19, pp. 180–186.
12. Bambalov N. N. *Soderzhanie lignina v tselinniyih i okulturenniyih torfyanoy pochvah Belorusskogo Polesya* [Lignin content in peat soils of Belarusian Palesia]. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 2007. no. 11, pp. 1316–1322.
13. Avakumov, E. V. *Istochniki i sostav guma nekotoryih pochv Zapadnoy Arktiki* [The source and content of the humus of some soils of West Arctic]. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 2010, no. 5, pp. 538–547.
14. Merkushina G. A., Larin S. I., Larina N. S., Merkushina G. A. *Issledovanie gruppovogo i fraktsionnogo sostava guma verhovogo torfyanika v golotsene* [The study of the group and fractional content of upper peat in Holocene]. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Nauki o zemle"*, 2013, no. 4, pp. 187–198.
15. Tomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produktyi ego pererabotki* [Peat and products of its proceeding]. Minsk, 2009, 280 p.
16. Shinkeeva N. A., Maslov S. G., Arhipov V. S. *Harakteristika gruppovogo sostava organicheskogo veschestva reprezentativnyih torfov taezhnoy zonyi Zapadnoy Sibiri* [The characteristics of the group content of the organic substance of the representative peat of the taiga zone of West Siberia]. *Vestnik TGPU*, 2009, no. 3, pp. 116–119.
17. Bambalov N. N. *Rol gidrotermicheskikh faktorov v razlozenii organicheskogo veschestva rasteniy-torfoobrazovateley* [The role of hydrothermal factors in the decomposition of the organic substance of peat plants]. *Prirodnyie resursyi = Nature resources*, 2005, no. 1, pp. 44–52.
18. Ponomareva T. I., Selyanova S. B., Parfenova L. N., Trufanova M. V., Sokolova T. V. *K voprosu ob analize organicheskogo veschestva torfa, sformirovannogo v usloviyah zapadnogo segmenta Rossiyskoy Arktiki* [To the issue of the analysis of the organic substance of peat, formed in the conditions of the western segment of Russian arctic]. Sb. nauch. Tr. Arhangelskogo tsentra RGO = Coll. Scient. Rep. of Tr. Arhangelsk Center of RGO, 2015, vol. 3. Arhangelsk, pp. 5–15.
19. Parfenova L. N., Selyanova S. B., Trufanova M. V., Bogolitsyn K. G., Orlov, A. S., Volkova N. N., Ponomareva T. I., Sokolova T. V. *Komponentnyiy sostav i strukturnaya organizatsiya torfa bolotnyih massivov Evropeyskogo severa Rossii* [The component content and structural organization of peat masses of European North of Russia]. *Vestnik SAFU. Seriya "Estestvennyie nauki"*, 2014, no. 4, pp. 143–154.
20. Parfenova L. N., Selyanova S. B., Trufanova M. V., 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.

21. Churakova E. Yu. *Listostebelnyie mhi taezhnoy zonyi Arhangelskoy oblasti* [The leafy mosses of the taiga zone of Arkhangelsk area]. *Arctoa. A Journal of bryology*, 2002, KMK, vol. 11, pp. 352–392.
22. Sokolov O. M., Ivko V. R. *Torfyanie resursyi Arhangelskoy oblasti i ih ispolzovanie* [The peat resources of Arkhangelsk area and their use]. Arhangelsk, AGTU publ., 2000, 37 p.
23. *Metodika izmereniy gruppovogo himicheskogo sostava torfa gravimetricheskim metodom* [The methodic of the estimation of group chemical content of peat by gravimetric method]. Arhangelsk, 2017, 20 p. (Svidetelstvo ob attestatsii no. 88-16365-009-RA.RU.310657-2017) [The certificate of attestation № 88-16365-009-RA.RU.310657-2017].
24. Obolenskaya A. V., Elnitskaya Z. P., Leonovich A. A. *Laboratornyie rabotyi po himii drevesiny i tsnellyulozyi: Uchebnoe posobie dlya vuzov* [Laboratory works on wood and cellulose chemistry: Tutorial for universities]. Moscow, Ecology Publ., 1991, 320 p.
25. Ponomareva V. V., Plotnikova T. A. *Gumus i pochvoobrazovanie (metody i rezultaty izucheniya)* [Humus and soil formation (method and study results)]. Leningrad, Science Publ., 1980, 222 p.
26. Efimov V. N. *Torfyanie pochvyi i ih plodorodie* [Peat soils and their fertility]. Leningrad, 1986, 264 p.
27. Tyuremnov S. N. *Torfyanie mestorozhdeniya*. Izdanie 3-e, pererab. i dop. [Peat deposits. 3rd ed., proc. and add.]. Moscow, Subsoil Publ., 1976, 488 p.
28. Maryganova V. V., Bambalov N. N., Strigutskii V. P., Parmon S. V. Changes in the composition of humic substances depending on the depth of peat occurrence. *Solid Fuel Chemistry*, 2013, vol. 47, № 3, pp. 153–164.
29. Arhipov V. S., Maslov S. G. *Sostav i svoystva tipichnyih vidov torfa tsentralnoy chasti Zapadnoy Sibiri* [Compiler and properties of typical peat species in the central part of Western Siberia]. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja = Chemistry of plant raw material*, 1998, no. 4, pp. 9–16.
30. Selyanina S. B., Trufanova M. V., Sabelina S. A., Bogdanov M. V., Bogolitsin K. G., Sokolova T. V., Strigutskiy V. P., Pehtereva V. S., Tomson A. E. *Biologicheski aktivnyie ekstrakty verhovogo torfa Evropeyskogo Severa Rossii* [Biologically active extracts of raised peat of the European North of Russia]. *Vestnik RFFI*, 2016, no. 1, pp. 31–37.
31. Kononova M. M. *Formirovanie gumusa v pochve i ego razlozhenie* [Formation of humus in the soil and its decomposition]. *Uspehi mikrobiologii = Successes of microbiology*, 1976, vol. 11, pp. 134–149.
32. Aleksandrova L. N. *Organicheskoe veschestvo pochvyi i protsessyi ego transformatsii* [Organic substance of the soil and the processes of its transformation]. Leningrad, Science, 1980, 387 p.
33. Kudeyarova A. Yu. *Prilozhenie fundamentalnyih polozheniy himii k ponimaniyu mehanizmov obrazovaniya i transformatsii gumusovyih veschestv* [The application fundamental principles of chemistry to understanding the mechanisms of formation and transformation of humic substances]. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 2007, no. 9, pp. 1048–1063.
34. Tsyganov A. R., Tomson A. E., Prohorov S. G. Strigutskiy V. P., Sokolova T. V., Pehtereva V. S., Bogolitsin K. G., Selyanina S. B. *Mehanizm stabilnosti torfyaniy bitumov* [The mechanism of stability of peat bitumen]. *Izvestiya Natsionalnoy akademii nauk Belarusi*, 2016, no. 2, pp. 98–111.

Информация об авторах

Томсон Алексей Эммануилович – канд. хим. наук, доцент, зам. директора по науч. работе, зав. Центром по торфу и сапропелям, зав. лаб. экотехнологий, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: altom@ecology.basnet.by

Соколова Тамара Владимира – канд. техн. наук, доцент, ст. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: tomsok49@tut.by

Пехтереева Виктория Станиславовна – науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: pehvik@jandex.ru

Сосновская Наталья Евгеньевна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: natalisosnov@mail.ru

Селянина Светлана Борисовна – канд. техн. наук, доцент, зав. лабораторией экоболотных систем, ст. науч. сотрудник, ФБГУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика В. П. Лаверова РАН (Набережная Северной Двины, д. 23, 163000, г. Архангельск, Российская Федерация). E-mail: smssb@yandex.ru

Information about the authors

Aleksey E. Tomson – Ph.D (Chemistry), Assistant Professor, Deputy Director, Head of the Centre for the Peat and Sapropel, Head of Lab. of Ecotechnology, Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: altom@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, Republic of Belarus). E-mail: tomsok49@tut.by

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

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

Svetlana B. Selyanina – Ph.D (Technical), Assistant Professor, Head of Wetland Ecosystems Laboratory, Senior Researcher, N. Lavrov Federal Centre for Integrated Arctic Research Russian Academy of Science (FCI Arctic RAS) (23, Severnoi Dviny Emb., 163000, Arkhangelsk, Russia). E-mail: smssb@yandex.ru

Орлов Александр Сергеевич – мл. науч. сотрудник, ФБГУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика В. П. Лаверова РАН (Набережная Северной Двины, д. 23, 163000, г. Архангельск, Российская Федерация). E-mail: alsoror@yandex.ru

Труфанова Марина Витальевна – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник, ФБГУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика В. П. Лаверова РАН (Набережная Северной Двины, д. 23, 163000, г. Архангельск, Российская Федерация). E-mail: mtrufanova@yandex.ru

Пономарева Тамара Игоревна – мл. науч. сотрудник, ФБГУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика В. П. Лаверова РАН (Набережная Северной Двины, д. 23, 163000, г. Архангельск, Российская Федерация). E-mail: ponomtamara@gmail.com

Ярыгина Ольга Николаевна – мл. науч. сотрудник, ФБГУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика В. П. Лаверова РАН (Набережная Северной Двины, д. 23, 163000, г. Архангельск, Российская Федерация). E-mail: olga.yarigina@gmail.com

Зубов Иван Николаевич – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник, ФБГУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика В. П. Лаверова РАН (Набережная Северной Двины, д. 23, 163000, г. Архангельск, Российская Федерация). E-mail: zubov.ivan@bk.ru

Alexander S. Orlov – Junior Researcher, N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research Russian Academy of Science (FCI Arctic RAS) (23, Severnoi Dviny Emb., 163000, Arkhangelsk, Russia). E-mail: aleror@yandex.ru

Marina V. Trufanova – Ph.D (Chemistry), Senior Researcher, N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research Russian Academy of Science (FCI Arctic RAS) (23, Severnoi Dviny Emb., 163000, Arkhangelsk, Russia). E-mail: mtrufanova@yandex.ru

Tamara I. Ponomareva – Junior Researcher, N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research Russian Academy of Science (FCI Arctic RAS) (23, Severnoi Dviny Emb., 163000, Arkhangelsk, Russia). E-mail: ponotamara@gmail.com

Olga N. Yarygina – Junior Researcher, N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research Russian Academy of Science (FCI Arctic RAS) (23, Severnoi Dviny Emb., 163000, Arkhangelsk, Russia). E-mail: olga.yarigina@gmail.com

Ivan N. Zubov – Ph.D (Chemistry), Senior Researcher, N. Laverov Federal Centre for Integrated Arctic Research Russian Academy of Science (FCI Arctic RAS) (23, Severnoi Dviny Emb., 163000, Arkhangelsk, Russia). E-mail: zubov.ivan@bk.ru

УДК 631.405

Поступила в редакцию 12.04.2018

Received 12.04.2018

ЭНЗИМАТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ТОРФА ЕСТЕСТВЕННОЙ И РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ ТОРФЯНОЙ ЗАЛЕЖИ

Г. В. Наумова¹, Н. А. Жмакова¹, Н. Л. Макарова¹, Н. Ф. Рассоха², Т. Ф. Овчинникова¹

¹*Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь;*

²*Институт овощеводства НАН Беларусь, Минск, Беларусь*

Аннотация. Ферменты (энзимы) являются неотъемлемой частью биологически активных соединений торфа, они принимают активное участие в процессах торфообразования и превращений его органического вещества. Ферменты поступают в торф из клеток отмерших болотных растений, а также выделяются микрофлорой торфяной залежи. Интенсивность биологических процессов в торфе определяются по активности каталазы, инвертазы и протеазы. Цель работы – изучить энзиматическую активность торфа разных видов и разных лет добычи на различных глубинах неосушенной и осущененной торфяной залежи. Установлено, что активность ферментов торфа фрезерных полей снижается с глубиной. Показана высокая активность каталазы, инвертазы и протеазы торфа первого года добычи. Торфяная залежь, где добыча торфа осуществлялась несколько лет, обладает низкой биохимической активностью. После 8 лет эксплуатации показатели ферментативной активности снижаются почти в 2,0 раза, после 11 лет – еще более значительно. Сравнительный анализ ферментативной активности верхового и низинного торфа показывает, что сфагновый торф неосушенной залежи и первых лет добычи характеризуется более высокой каталазной активностью, однако в последующие годы она более резко падает, чем в низинным торфе, видимо, в связи с относительным накоплением в нем фенольных соединений. Инвертазная активность сфагнового торфа практически в 2,0 раза выше, чем низинного, так как он содержит значительно больше углеводов. После 8 лет эксплуатации различие в инвертазной активности менее выражено. Низинный торф отличается более высокой протеазной активностью, в связи с повышенным содержанием в нем азотсодержащих соединений. Анализ ферментативной активности торфа с неосушенных участков месторождений показал, что при переходе от поверхности залежи к более глубоким горизонтам ферментативная активность торфа резко снижается. При этом наиболее биологически активен верхний слой, богатый аэробной микрофлорой. На большой глубине залежи активность всех ферментов снижается в несколько раз.

Ключевые слова: ферменты; каталаза; инвертаза; протеаза; торф; торфяная залежь; фрезерные поля; глубина отбора.

Для цитирования. Наумова Г. В., Жмакова Н. А., Макарова Н. Л., Рассоха Н. Ф., Овчинникова Т. Ф. Энзиматическая активность торфа естественной и разрабатываемой торфяной залежи // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 208–216.

ENZYMIC ACTIVITY OF THE PEAT OF NATURAL AND DEVELOPED PEAT DEPOSIT

G. V. Naumova¹, N. A. Zhmakova¹, N. L. Makarova¹, N. F. Rassoha², T. F. Ovchinnikova¹

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

²*Institute for vegetable growing of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

Abstract. Ferments (enzymes) are the integral part of biologically active peat compounds, they take an active part in the processes of peat formation, significantly affect the transformation of its organic matter when draining peat deposits. Ferments enter peat from the cells of dead marsh plants and algae, and are also distinguished by the microflora of the peat deposit - bacteria and fungi. The intensity of biological processes in soil and peat is usually determined by the activity of such enzymes as catalase, invertase and protease. The purpose of this study was to study the enzymatic activity of peat from the different years of production and at various depths of an undried and drained peat deposit. The results of biochemical studies have shown that the activity of enzymes in the peat deposit of milling fields and unrestricted peat bogs decreases with depth, and the upper layer to the depth of 10 cm rich in aerobic microflora is the most biologically active. The peat of this layer is characterized by the increased activity of hydrolytic and oxidation-reduction enzymes.

Key words: ferments; catalysis; invertase; protease; peat; peat deposit; milling fields; depth of selection.

For citation. Naumova G. V., Zhmakova N. A., Makarova N. L., Rassoha N. F., Ovchinnikova T. F. Enzymatic activity of the peat of natural and developed peat deposit. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 208–216.

Введение. В основе биологических процессов, происходящих при трансформации органического вещества торфа лежат ферментативные превращения. Они катализируются не только ферментами микрофлоры, но и ферментами, утратившими связь с живыми организмами. Во многом упорядоченность почвообразовательных процессов торфяных почв также обусловлена действием накопленных в ней ферментов, которые во много раз увеличивают интенсивность протекания биохимических реакций [1].

Ферменты являются неотъемлемой частью биологически активных соединений торфа. Известно, что они принимают активное участие в процессах торфообразования, существенно влияют на превращение органического вещества торфа при осушении торфяных месторождений, а также при хранении и саморазогревании его фрезерной крошки [2–4]. Именно ферментам отводится важная роль, связанная с повышением биологической активности минеральных почв, мелиорированных торфом, органическими удобрениями, компостами, получаемыми на его основе.

Ферментами (энзимами) называют высокомолекулярные биохимические катализаторы белковой природы, присутствующие в любой живой клетке. За ферментами и ферментными препаратами большое будущее, их можно использовать при деструкции природных полимеров без существенных энергетических и других технологических затрат, так как они позволяют осуществлять протекание биохимических реакций при сравнительно мягких условиях внешней среды (рН, температура, давление). Для них характерна высокая специфичность и эффективность действия по сравнению с химическими катализаторами.

Еще в 1950-х годах основоположник почвенной энзимологии академик В. Ф. Купревич обратил внимание на то, что почвы, в том числе торфяные, а также сам торф и его водные экстракты, способны катализировать многие биохимические реакции, как и ферменты живых организмов [2]. Характерно, что в последующие годы как белорусские, так и зарубежные ученые выявили весьма высокую энзиматическую активность торфа и окультуренных торфяных почв в сравнении с минеральными почвами, рассматривая их как источник для выделения различных групп ферментов и создания ферментных препаратов.

Согласно литературным данным [5], в торфяных почвах и торфе обнаружены ферменты четырех классов:

- гидролазы (инвертаза, амилаза, протеаза, уреаза и др.);
- оксиредуктазы (каталаза, дигидрогеназа, пироксидаза и др.);
- трансферазы (аминотрансфераза, гликозидтрансфераза и др.);
- синтетазы (кислотно-аммиачная лигаза, глутаматсинтетазы).

Ферменты этих групп, адсорбируясь на частицах торфяных почв, торфа, проявляют высокую устойчивость к ингибиторам, неблагоприятным условиям внешней среды и активно участвуют в трансформации их органического вещества.

Происхождение ферментов торфа обязано их поступлению из клеток и тканей отмерших болотных растений и водорослей, а также выделению микрофлорой торфяной залежи – бактериями и грибами, деструктирующими в первую очередь, полисахариды и протеины. Предыдущими исследованиями установлена тесная взаимосвязь между микробиологической и энзиматической активностью торфа, а также его склонностью к саморазогреванию при хранении в складочных единицах (штабелях) [6].

Многие исследователи наиболее подходящими ферментами для оценки интенсивности биологических процессов почв и торфа считают каталазу, инвертазу и протеазу [5, 7].

Каталаза – двухкомпонентный фермент, состоящий из белка и активной простетической группы. Не будучи окислительным ферментом, каталаза относится к категории энзимов, близким по природе к оксидазам, потому что ее действие связано с физиологическим окислением. Каталитическое действие каталазы заключается в разложении пероксида водорода с образованием воды и газообразного кислорода. Она является одним из наиболее активных и устойчивых ферментов, встречается почти во всех живых организмах, выполняя защитную роль от вредного действия пероксида водорода, образующегося при целом ряде биохимических реакций.

Инвертаза – гидролитический фермент. Он гидролизует сахарозу, раффинозу, генцианозу, а также катализирует фруктотрансферазные реакции, т. е. реакции, связанные с гидролитическим распадом безазотистых органических соединений в почве, торфе. Она является широко распространенным ферментом среди растений и микроорганизмов.

Протеолитические ферменты, или протеазы, катализируют гидролитическое расщепление белков до полипептидов и аминокислот, которые подвергаются дальнейшему гидролизу до аммиака, углекислоты и воды.

В связи с большой ролью микробиологических и биохимических факторов при сельскохозяйственном использовании торфа и торфяных почв, значительный интерес представляет изучение ферментативной активности торфа разных лет добычи и на различных глубинах неосушенной и осушенной торфяной залежи.

Объекты и методы исследования. Отбор проб торфа на осушенней залежи осуществляли из верхнего 10-сантиметрового слоя. Объектом исследования служили пробы, составленные из торфа, отобранного на 12 точках четырех смежных карт, общая площадь которых составляла 2 га.

На неосушенной залежи пробы отбирали с глубины 10–15 и 70–80 см от дневной поверхности. Для ослабления влияния сезонности и процесса фрезерования залежи отбор проб торфа проводили в сентябре–октябре после окончания сезона добычи.

Подготовка проб торфа для анализа включала измельчение, высушивание до воздушно-сухого состояния в расстиле при комнатной температуре, просеивание через сито с диаметром ячеек 1 мм, распределение ровным слоем на полиэтиленовой пленке и отбор проб в нескольких местах до необходимой для анализа массы.

Ботанический состав определяли глазомерным (микроскопическим) методом, который заключается в определении под микроскопом в отмытых от гумуса растительных волокнах процентного содержания остатков различных видов растений-торфообразователей. По результатам этого анализа дается название виду торфа в соответствии с атласом-определителем [8].

Определение степени разложения торфа осуществляли глазомерно-процентным микроскопическим методом, предложенным П. Д. Верлыгиным и основанном на учете процента площади, занятой гумифицированной массой торфа, которая под микроскопом сравнительно легко отличается своими аморфными хлопьями от растительных остатков с явно выраженной клетчатой структурой [9].

Зольность торфа определяли типовым методом согласно ГОСТ 11306–83 [10], который заключается в полном сжигании навески торфа в муфельной печи при температуре 800 ± 25 °С и прокаливании зольного остатка до постоянного веса при той же температуре. Из средней пробы высущенного торфа брали навески массой 1–3 г. Тигли с навесками торфа помещали в холодную муфельную печь, температуру в которой постепенно доводили до 800 °С и проводили озоление пробы в течение 2–3 ч. После охлаждения тиглей в экскаторе до комнатной температуры проводили взвешивание тиглей с зольным остатком на аналитических весах с точностью 0,001 г. Определение зольности проводили в двух параллельных навесках. Результаты анализов каждого из двух параллельных определений зольности рассчитывали до сотых долей процента. Окончательный результат представлял собой среднее арифметическое из двух параллельных определений, округленный до десятых долей процента.

Определение содержания влаги торфа проводили в соответствии с действующим типовым методом по ГОСТ 11305–83 [11]. Сущность данного метода заключается в высушивании торфа в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С до постоянной массы и вычислении в процентах потери массы взятой навески. Разница в результатах взвешиваний не должна превышать 0,01 г.

Определение обменной кислотности торфа проводили по ГОСТ 11623-89 [12]. Сущность метода заключается в приготовлении хлоркалиевой торфяной суспензии и потенциометрическом измерении в ней величины pH.

Образец торфа 20–30 см³ помещали в стеклянный стакан вместимостью 100 см³ и добавляли 1 н. раствор хлористого калия в количестве, соответствующем 2,5 объема по отношению ко взятому объему торфа. После тщательного перемешивания суспензии стакан накрывали стеклом и оставляли на 4–5 ч. Затем суспензию вновь перемешивали, измеряли величину pH с помощью pH-метра или ионометра. Значение кислотности фиксировали с точностью до 0,02 pH, окончательные результаты испытания пробы округляли до десятых долей pH. Кислотность в каждой пробе определяли параллельно в двух навесках. За результат анализа принимали среднее арифметическое результата двух определений в пределах допускаемых расхождений.

Для анализа углеводных составляющих использовали метод определения компонентного состава торфа Инсторфа [13, 14].

Водорастворимые вещества торфа определяли путем обработки воздушно-сухой навески обезбитуминированного торфа массой 5–6 г горячей водой (98–100 °C) в течение 5 ч на водяной бане. После этого смесь фильтровали, остаток высушивали при комнатной температуре до постоянного веса и определяли количество водорастворимых веществ по разности массы исходной навески и остатка после выделения водорастворимых веществ с учетом содержания в них влаги и золы.

Легкогидролизуемые вещества торфа определяли путем обработки остатка от выделения водорастворимых веществ 4 %-ной соляной кислотой в течение 5 ч на кипящей водяной бане, после чего смесь фильтровали через двойной бумажный фильтр (внутренний фильтр, на котором находится остаток, должен быть взвешен). Остаток на фильтре отмывали горячей дистиллированной водой до нейтральной реакции на универсальную индикаторную бумагу и высушивали до воздушно-сухого состояния. Количество легкогидролизуемых веществ определяли по разности массы взятой навески и остатка после выделения легкогидролизуемых веществ с учетом содержания в них влаги и золы.

Из навески, оставшейся после выделения водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, удаляли гуминовые вещества путем гидролиза 0,1 н. раствором гидроксида натрия при температуре 80 °С, после чего отмытый до нейтральной реакции и высушенный до воздушно-сухого состояния лигно-целлюлозный комплекс подвергали гидролизу 80 %-ной серной кислотой в течение 2,5 ч при комнатной температуре. Количество трудногидролизуемых веществ определяли по разности массы взятой навески и отмытого и высушенного до воздушного до воздушно-сухого состояния остатка после выделения трудногидролизуемых веществ с учетом содержания в них влаги и золы.

Во всех углеводных фракциях после проведения инверсии сахаров определяли количество редуцирующих веществ эбулиостатическим методом, основанным на принципе прямого титрования горячего меднощелочного раствора раствором, содержащим редуцирующие вещества. Для растворения осадка закиси меди в меднощелочной раствор добавляли желтую кровянную соль. Титрование проводили в токе водяного пара в присутствии индикатора метиленовой сини, который в окислительной среде имеет синюю окраску, а в восстановительной – бесцветную. Титр меднощелочного раствора устанавливали по глюкозе, титруя его раствором глюкозы, концентрацию которого вычисляли по навеске [15].

Каталазную активность торфа в см³ О₂ на 1 г торфа (при экспозиции 3 мин) определяли газометрическим методом, основанным на учете кислорода, выделившегося в результате действия фермента на пероксид водорода в течение строго определенного промежутка времени. Инвертазную активность торфа в мг глюкозы на 1 г абсолютно сухого торфа (за сутки) определяли калориметрическим методом, основанным на взаимодействии редуцирующих сахаров с 3,5-динитросалициловой кислотой с образованием продуктов желто-оранжевого цвета, которые колориметрировали против контроля и стандартных растворов глюкозы. Протеазную активность торфа в мг аминного азота на 5 г абсолютно сухого торфа определяли по интенсивности расщепления раствора казеина до аминокислот за 20 ч с последующим отделением негидролизованного казеина и определением количества свободных аминокислот в фильтрате путем их взаимодействия с реагентом Фолина в среде углекислого натрия и определением оптической плотности растворов на спектрофотометре. Количество продуктов, образовавшихся при гидролизе казеина, выражали в тирозиновом эквиваленте и находили по стандартной кривой, составленной по чистому тирозину [7].

Результаты исследований. Отбор образцов торфа на осушенных торфяных залежах произведен с участков различных лет добычи: низинного торфа – на торфяном месторождении Гало-Ковалевское торфопредприятия «Сергеевское» Пуховичского района Минской области, верхового торфа – на торфопредприятии «Татарка» Осиповичского района Могилевской области. Образцы торфа характеризовали по геоботаническим показателям, влажности, зольности, кислотности (рН), а также по уровню каталазной, инвертазной и протеазной активности.

Геоботаническая и физико-химическая характеристика образцов торфа, отобранного на осушенных участках торфяной залежи различных лет эксплуатации, представлена в табл. 1.

Отобранные образцы были представлены как низинным тростниково-осоковым торфом (степень разложения от 25 до 35 %), так и верховым сфагновым торфом (степень разложения 10–15 и 15–20 %).

Таблица 1. Геоботаническая и физико-химическая характеристика торфа различных лет добычи

Table 1. The geobotanical and physicochemical characteristics of the peat of the different years of extraction

Номер образца	Количество образцов	Вид торфа	Степень разложения	Год добычи	Зольность А ^с , %	Влага В, %	Кислотность рН
<i>Низинный торф</i>							
1	18	Тростниково-осоковый	25–30	1-й	5,30	79,8	6,2
2	16	Тростниково-осоковый	25–30	8-й	4,84	82,1	6,1
3	15	Тростниково-осоковый	30–35	11-й	6,17	77,3	6,3
<i>Верховой торф</i>							
4	12	Сфагновый	10	1-й	3,43	81,2	4,2
5	14	Сфагновый	10–15	4-й	2,87	81,6	4,2
6	13	Сфагновый с примесью пушкицы	15–20	8-й	3,90	82,4	4,3

Значительное влияние на ферментативную активность торфа может оказывать присутствие в нем легкодоступных для потребления микроорганизмами веществ, представленных преимущественно углеводами. Последние составляют основную часть органического вещества растений-торфообразователей, однако они весьма лабильны, их содержание в процессе торфообразования постоянно снижается. Углеводный комплекс торфа включает такие группы веществ, как водорастворимые, легкогидролизуемые (гемицеллюлозы) и трудногидролизуемые (целлюлоза). Водорастворимые вещества торфа состоят в основном из моно-, дисахаридов, олигосахаридов, пектиновых веществ. Гемицеллюлозы способны переходить в водорастворимое состояние после предварительного гидролиза слабыми минеральными кислотами. Это полимеры, в основном звене которых находятся углеводы с пятью или шестью атомами углерода. Кроме пентозанов и гексозанов в гемицеллюлозы входит некоторое количество полиуронидов. Трудногидролизуемые вещества или целлюлоза – высокополимерный полисахарид, сложенный из остатков глюкозы. Она биохимически неустойчива и при увеличении степени разложения, а также при переходе торфа от моховой к древесной группе хорошо прослеживается уменьшение ее содержания.

Результаты исследования углеводного комплекса образцов низинного и верхового торфа различных лет добычи представлены в табл. 2.

Как видно из данных табл. 2, отобранные образцы низинного торфа в зависимости от продолжительности эксплуатации залежи заметно отличаются по содержанию компонентов углеводного комплекса, несмотря на близкие геоботанические и физико-химические характеристики. При этом, чем больше период эксплуатации залежи, тем меньше сохраняются его углеводные компоненты, в том числе редуцирующие вещества. Если образец № 1 с малым сроком эксплуатации залежи содержит 2,6 % редуцирующих веществ водорастворимой части, то после 11 лет разработки торфяного массива (образец № 3) их содержание в водорастворимой части находится в пределах 0,9 % на органическую массу. Такая же тенденция сохраняется и для редуцирующих веществ легко- и трудногидролизуемых углеводов торфа, содержание которых снижается с 16,8 до 9,5 и с 5,6 до 3,6 % соответственно.

В составе углеводного комплекса верхового торфа различных лет эксплуатации залежи для водорастворимых веществ происходят аналогичные изменения, когда при переходе от 4-го к 6-му образцу количество редуцирующих веществ снижается в 2,0 раза, но в составе легко- и трудногидролизуемых веществ углеводного комплекса эти изменения менее выражены, что можно объяснить высокой сохранностью углеводов в сфагновом торфе благодаря присутствию в них фенольных соединений.

Исследована каталазная, инвертазная и протеазная активность отобранных образцов торфа низинного и верхового типа.

Ферментативная активность образцов низинного торфа представлена в табл. 3.

Анализ экспериментальных данных свидетельствует о высокой ферментативной активности низинного торфа 1-го года добычи. Это касается как окислительного фермента каталазы, так и гидролитических – инвертазы и протеазы. Так, каталазная активность у этого торфа колеблется в пределах 25,2–29,7 см³ O₂ на 1 г торфа, инвертазная – 13,2–14,9 мг глюкозы на 1 г торфа и протеазная – 6,1–6,3 мг аминного азота на 5 г а. с. торфа. После 8 лет добычи эти показатели снижаются практически в 2,0 раза, а после 11 лет эксплуатации залежи в торфе наблюдается еще более значительное снижение ферментативной деятельности.

Таблица 2. Химическая характеристика углеводного комплекса низинного и верхового торфа различных лет добычи

Table 2. The chemical characteristics of the carbon complex of lowland and upland peat of the different years of extraction

Номер образца	Компоненты углеводного комплекса, % на ОМ					
	водорастворимые		легкогидролизуемые		трудногидролизуемые	
	Общий выход	РВ	Общий выход	РВ	Общий выход	РВ
<i>Низинный торф</i>						
1	3,5	2,6	23,9	16,8	5,9	5,6
2	2,8	1,8	20,9	14,1	4,3	4,2
3	1,9	0,9	17,6	9,5	3,9	3,6
<i>Верховой торф</i>						
4	7,1	4,2	37,1	21,4	23,8	22,4
5	5,3	2,9	35,4	19,3	22,1	21,0
6	4,4	2,1	34,6	18,2	21,3	20,2

Таблица 3. Ферментативная активность образцов низинного тростниково-осокового торфа различных лет добычи**Table 3. The ferment activity of the reed-sedge lowland peat samples of the different years of extraction**

Номер образца	Степень разложения, %	Год добычи	Ферментативная активность		
			катализы	инвертазы	протеазы
1	25–30	1-й	25,2–29,7	13,2–14,9	6,1–6,3
2	25–30	8-й	14,6–15,8	6,5–7,0	3,6–4,0
3	30–35	11-й	6,2–6,7	4,4–5,1	1,5–1,8

Результаты исследования энзиматической активности верхового торфа представлены в табл. 4.

Определение активности каталазы, по которой принято оценивать биологическую активность почв и торфа в целом, а также инвертазной и протеазной активности позволило установить, что независимо от месторождения при одинаковой степени разложения и схожем ботаническом составе высокой активностью отличается верхний слой осушенной залежи на фрезерных полях добычи торфа. Именно по этому показателю выделяется торф с поверхности карт 1-го года эксплуатации, в котором активность каталазы составляет 15,9–17,6 см³ O₂ на 1 г торфа. Для этих же образцов торфа характерна высокая инвертазная активность: 24,4–26,5 мг глюкозы на 1 г торфа (за сутки). Протеазная активность сфагнового торфа значительно ниже в сравнении с этим показателем у низинного торфа 1-го года добычи и составляет 3,3–3,6 мг аминного азота на 5 г а. с. торфа.

Характерно, что торфяная залежь, где добыча торфа осуществлялась несколько лет, обладает низкой биохимической активностью, о чем свидетельствуют данные энзиматических исследований после 4 и 8 лет добычи торфа. Так, активность каталазы в образцах сфагнового торфа составляет 8,5–11,3 и 4,1–5,2 см³ O₂ на 1 г торфа (при экспозиции 3 мин) соответственно, инвертазы – 10,2–12,3 и 6,1–6,8 мг глюкозы на 1 г торфа (за сутки) соответственно. Что касается протеазы, то ее активность после 4 и 8 лет добычи торфа снижается примерно в 2,0–4,0 раза.

Высокая инвертазная активность верхового торфа связана с большим содержанием в нем легкодоступных для микрофлоры водорастворимых и легкогидролизуемых углеводов, а более низкая протеазная активность – с незначительным количеством азотсодержащих соединений.

Таким образом, сравнительный анализ ферментативной активности верхового и низинного торфа показывает, что низинный торф характеризуется более высокой каталазной активностью, что может быть связано как с присутствием в его составе большего количества гуминовых веществ и с относительным накоплением в нем соединений фенольного характера, так и с более высокой кислотностью верхового торфа (каталаза менее активна в кислой среде). Инвертазная активность сфагнового торфа 1-го года добычи практически в 2,0 раза выше, чем у тростниково-осокового торфа, в связи с более высоким содержанием в нем водорастворимых и легкогидролизуемых углеводов, которые являются питательной средой для развития микроорганизмов, выделяющих этот фермент. После 8 лет эксплуатации различие в инвертазной активности этих видов торфа менее выражено.

Низинный торф отличается значительно большей протеазной активностью в сравнении со сфагновым независимо от года добычи, что обусловлено более высоким содержанием в низинной залежи азотсодержащих веществ.

При изучении ферментативной активности неосушенных залежей пробы торфа отбирали на торфомассивах Пурвины, Плавское и Туршовка–Чертово с глубин 5–10 и 70–80 см от дневной поверхности.

Таблица 4. Ферментативная активность образцов верхового сфагнового торфа различных лет добычи**Table 4. The ferment activity of sphagnum upland peat samples of the different years of extraction**

Номер образца	Степень разложения, %	Год добычи	Ферментативная активность		
			катализы	инвертазы	протеазы
4	10	1-й	15,9–17,6	24,4–26,5	3,3–3,6
5	10–15	4-й	8,5–11,3	10,2–12,3	1,7–2,1
6	15–20	8-й	4,1–5,2	6,1–6,8	0,8–0,9

Результаты анализа ферментативной активности торфа с неосушенных участков этих месторождений показаны в табл. 5, из данных которой следует, что ферментативная активность торфа неосушенной залежи резко снижается при переходе от поверхности к более глубоким горизонтам. Так, каталазная активность верхнего слоя осокового торфа составляет $32,5 \text{ см}^3 \text{ O}_2$ на 1 г торфа, а на глубине 70–80 см падает в 2,0 раза. Аналогичные закономерности наблюдаются и для осоково-гипнового, древесного-осокового и сфагнового торфа. Иными словами, торф неосушенной залежи на этой глубине имеет низкую каталазную активность, которая колеблется в пределах $11,1\text{--}16,2 \text{ см}^3 \text{ O}_2$ на 1 г пробы.

Таблица 5. Изменение каталазной и протеазной активности торфа на неосушенных торфяных месторождениях в зависимости от глубины его залегания

Table 5. The change of the catalase and protease activity of peat on non-dried peat deposits, depending on the depth of its bedding

Торфо-массив	Вид торфа	Степень разложения, %	Глубина отбора, см	Каталазная активность, $\text{см}^3 \text{ O}_2$	Протеазная активность, мг аминного азота на 5 г а. с. торфа
Пурвины	Осоковый	10–15	5–10	32,5	4,7
		15–20	70–80	16,2	1,5
	Осоково-гипновый	10–15	5–10	29,4	4,2
		15–20	70–80	15,9	1,1
Плавское	Древесно-осоковый	20–25	5–10	30,1	3,8
		20–25	70–80	13,7	0,8
Туршовка–Чертово	Сфагновый	10–15	5–10	18,9	1,8
		15–20	70–80	11,1	0,3

Протеазная активность образцов низинного торфа на большой глубине залежи снижается в 3,0–5,0 раз и падает с 3,8–4,7 мг у образцов, отобранных с дневной поверхности, до 1,5–0,8 мг аминного азота на 5 г а. с. торфа у образцов, отобранных с глубины 70–80 см. У верхового сфагнового торфа уровень активности протеолитических ферментов значительно ниже, чем у низинного, и также резко падает с глубиной.

Выявлено, что пробы торфа, отобранные на поверхности неосушенной залежи (5–10 см от дневной поверхности), обладают несколько более высокой каталазной активностью, чем их аналоги с фрезерных полей добычи. Так, каталазная активность торфа, залегающего у поверхности неосушенной залежи, достигает у низинного торфа $29,4\text{--}32,5 \text{ см}^3 \text{ O}_2$, а у верхового сфагнового – $18,9 \text{ см}^3 \text{ O}_2$ в расчете на 1 г, а у фрезерного торфа 1-го года добычи – $25,2\text{--}29,7$ и $15,9\text{--}17,6$ соответственно.

Высокая каталазная активность сфагнового торфа неосушенной залежи может быть обусловлена тем, что сами сфагновые мхи обладают высокой каталазной активностью, которая для магелланум-мха и парвифолиум-мха достигает $80\text{--}90 \text{ см}^3 \text{ O}_2$ на 1 г растительной массы [6]. Этим же можно объяснить и высокую каталазную активность фрезерного торфа 1-го года добычи, в котором присутствуют остатки болотной растительности.

Активность протеолитических ферментов образцов торфа неосушенной залежи как низинного, так и верхового типа в 1,5–2,0 раза ниже, чем у их аналогов с фрезерных полей.

Согласно литературным данным, образцы погребенного торфа вовсе не обладают энзиматической активностью [5, 6].

Заключение. Таким образом, результаты биохимических исследований свидетельствуют, что активность ферментов в торфяной залежи фрезерных полей и неосушенных торфяников снижается с глубиной, а наиболее биологически активен верхний слой до глубины 10 см. Он богат аэробной микрофлорой и характеризуется повышенной активностью гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов.

Обобщение и анализ литературных источников и проведенных экспериментов по изучению ферментативной активности неосушенной и эксплуатируемой торфяной залежи позволяют прийти к заключению о том, что торф, вносимый на поля в качестве органических удобрений, мелиорантов, компонентов грунтов и компостов, – это не только источник питательных веществ для растений и фактор улучшения физической структуры почвы, но и катализический активатор энзиматической природы, положительно воздействующий на протекание в ней биохимических процессов, вносящий существенный вклад в ее плодородие.

Список использованных источников

1. Кретович, В. Л. Введение в энзимологию / В. Л. Кретович. – М. : Наука, 1967.
2. Купревич, В. Ф. Биологическая активность почвы и методы ее определения / В. Ф. Купревич // Докл. Акад. наук СССР. – 1951. – Т. 79, № 5.– С. 863–866.
3. Наумова, Г. В. Торф в биотехнологии / Г. В. Наумова. – Минск : Наука и техника, 1987.
4. Наумова, Г. В. Изменение биохимической активности торфа при саморазогревании / Г. В. Наумова, Т. А. Шинкарева, Т. А. Третьякова // Вес. Акад. наук БССР. Сер. биол. наук. – 1978. – № 4. – С. 18–22.
5. Купревич, В. Ф. Почвенная энзимология / В. Ф. Купревич, Т. А. Щербакова. – Минск : Наука и техника, 1966.
6. Превращение торфа и его компонентов в процессе саморазогревания при хранении / под ред. Н. С. Панкратова. – Минск : Наука и техника, 1972. – С. 142–182.
7. Щербакова, Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества (в естественных и искусственных фитоценозах) / Т. А. Щербакова. – Минск : Наука и техника. – 1983.
8. Домбровская, А. В. Атлас растительных остатков, встречающихся в торфе / А. В. Домбровская, М. И. Коренева, С. Н. Тюремнов. – М. : Госэнергоиздат, 1959.
9. ГОСТ 10650–72. Торф. Методы определения степени разложения. – М. : Изд-во стандартов, 1974.
10. ГОСТ 11306–83. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. – М. : Изд-во стандартов, 1985.
11. ГОСТ 11305–83. Методы определения влаги. – М. : Изд-во стандартов, 1985.
12. ГОСТ 11623–89. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения обменной и активной кислотности. – М. : Изд-во стандартов, 1991.
13. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск : Наука и техника, 1975
14. Семенский, Е. П. Технический анализ торфа / Е. П. Семенский. – М. : Недра, 1966.
15. Низовкин, В. К. Эбулиостатический метод определения редуцирующих сахаров / В. К. Низовкин, И. З. Емельянова // Журнал прикладной химии. – 1959. – Т. 32, № 11. – С. 2516–2521.

References

1. Kretovich V. L. *Vvedenie v enzimologiyu* [Introduction into enzymology]. – Moscow, Science, 1967.
2. Kuprevich V. F., Scherbakova T. A. *Biologicheskaya aktivnost pochvy i metody ee opredeleniya* [Biological activity of soil and methods of its determination]. *Dokladyi AN SSSR = Reports of the AS of USSR*, 1951. Vol. 79, no. 5, pp. 863–866.
3. Naumova G. V. *Torf v biotekhnologii* [Peat in biotechnology]. Minsk, Science and technics, 1987.
4. Naumova G. V., Shinkareva T. A., Tretyakova T. A. *Izmenenie biohimicheskoy aktivnosti torfa pri samorazgrevanii* [Change in biochemical peat activity during self-heating]. *Vesti AN BSSR. ser. boil. nauk = News of the AS of BSSR. ser. of biol. Science*, 1978, no. 4, pp. 18–22.
5. Kuprevich V. F., Scherbakova T. A. *Pochvennaya enzimologiya* [Soil enzymology]. Minsk, Science and technics, 1966.
6. *Prevrashchenie torfa i ego komponentov v protsesse samorazgrevaniya pri hranenii* [Peat and its compounds' transformation during the process of self-heating during storage], und. red. of N. S. Pankratov. Minsk, Science and technics, 1972, pp. 142–182.
7. Scherbakova T. A. *Fermentativnaya aktivnost pochv i transformatsiya organicheskogo veschestva (v estestvennyih i iskusstvennyih fitotsenozah)* [Ferment peat activity and the transformation of organic substance (in natural and artificial phytocenosis)]. Minsk, Science and technics, 1983.
8. Dombrovskaya A. V. *Atlas rastitelnyh ostatkov, vstrechaemyih v torfe* [Atlas of plant residues found in peat]. Moscow, Stateergoisdat, 1959.
9. GOST 10650–72. *Torf. Metod opredeleniya stepeni razlozheniya* [State Standard 10650-72. Peat. Method for determining the degree of decomposition]. Moscow, Standartinform Publ., 1974.
10. GOST 11306–83. *Torf i produkty ego pererabotki. Metody opredeleniya zolnosti* [State Standard 11306-83. Peat and products of its processing. Methods for determination of ash content]. Moscow, Standartinform Publ., 1985.
11. GOST 11305–83. *Metody opredeleniya vlagi* [Methods for determination of ash moisture]. Moscow, Standartinform Publ., 1985.
12. GOST 11623–89. *Torf i produkty ego pererabotki dlya selskogo hozyistva. Metody opredeleniya obmennoi i aktivnoi kislotnosti* [Peat and products of its processing for agriculture. Methods for determination of changing and active acidity]. Moscow, Standartinform Publ., 1991.
13. Lishtvan I. I., Korol N. T. *Osnovnye svoystva torfa i metody ikh opredeleniya* [Basic properties of peat and methods for their determination]. Minsk, Science and technics, 1975.
14. Semenskii E. P. *Tehnicheskii analiz torfa* [Technical peat analysis]. Moscow, Mineral resources, 1966.
15. Nizovkin V. K., Emelyanova I. Z. *Ebuliostaticheskii metod opredeleniya reduciruiushich saharov* [The ebulliostatic method for the determination of reducing sugars]. *Zhurnal prikladnoi himii = Journal of applied chemistry*, 1959, vol. 32, no. 11. pp. 2516–2521.

Информация об авторах

Наумова Галина Васильевна – д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Жмакова Надежда Анатольевна – канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: zhmakova@mail.ru

Макарова Наталья Леонидовна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Рассоха Николай Федорович – канд. сель.-хоз. наук, науч. сотрудник, Институт овощеводства НАН Беларуси (ул. Ковалева, 2, 223013, Минский район, пос. Самохваловичи, Республика Беларусь). E-mail: rassocha@hause.gov.ru

Овчинникова Татьяна Феликсовна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Information about the authors

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, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

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, Republic of Belarus). E-mail: zhmakova@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, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by @mail.ru

Nicolayi Rassocha – Ph.D. (Technical), Researcher, Institute of vegetable growing of National Academy of Sciences of Belarus (2, Kovaleva Str., 223013, Minsk region, village Samohvalovichi, Republic of Belarus). E-mail: rassocha@hause.gov.ru

Tatiyana Ovchinnikova – 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

УДК 547.458.87+547.992.2

Поступила в редакцию 14.02.2018

Received 14.02.2018

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПРОДУКТОВ СОВМЕСТНОЙ ГИДРОЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФА И РАПСОВОГО ШРОТА

Г. В. Наумова¹, Т. Ф. Овчинникова¹, Н. Ф. Рассоха², Н. Л. Макарова¹, Н. А. Жмакова¹

¹*Институт природопользования НАН Беларусь;*

²*Институт овощеводства НАН Беларусь, Минск, Беларусь*

Аннотация. Исследованиями последних лет показана перспективность использования торфа и отдельных видов отходов промышленной переработки растительного сырья в качестве источника природных биологически активных веществ. Торф содержит разнообразные биологически активные соединения растительного происхождения и гуминовые вещества, образующиеся в торфяной залежи в процессе разложения органических остатков без доступа кислорода. Рапсовый шрот получается после извлечения масла из семян рапса. Он содержит до 38 % протеина. Применение шрота в кормлении животных ограничивается наличием в его составе токсичных глюказинолатов и эруковой кислоты. Разработанный способ совместной гидролитической деструкции торфа и рапсового шрота позволяет разрушить токсичные соединения и получить продукты, содержащие активизированные в процессе химической обработки гуминовые кислоты, меланоидины, низкомолекулярные карбоновые кислоты и аминокислоты. Результаты лабораторных и микровегетационных опытов на тест-культурах свидетельствуют о высокой цитокининовой, гибберелиновой и ауксиновой активности нового препарата, что особенно четко проявляется на ранних стадиях развития растений. В присутствии низких концентраций препарата (0,001–0,005 %) активизируются деление и рост (растяжение) клеток, на 8,7–11,2 % повышается энергия прорастания семян и на 6,2–12,1 % их всхожесть. На более поздних этапах онтогенеза растений препарат стимулирует рост и развитие надземных органов и корневой системы, о чем свидетельствует прирост их биомассы на 47,7 и 54,3 % соответственно. Таким образом, можно заключить, что продукты совместной гидролитической деструкции торфа и рапсового шрота обладают выраженной биологической активностью.

Ключевые слова: торф; рапсовый шрот; гидролитическая деструкция; лабораторные растительные тесты; биологическая активность; цитокинины; гиббереллины; ауксины; всхожесть; прирост биомассы.

Для цитирования. Наумова Г. В., Овчинникова Т. Ф., Рассоха Н. Ф., Макарова Н. Л., Жмакова Н. А. Биологическая активность продуктов совместной гидролитической переработки торфа и рапсового шрота // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 217–223.

THE BIOLOGICAL ACTIVITY OF THE JOINT HYDROLYTIC PRODUCTS OF PEAT AND RAXED SHRONE PROCESSING

G. V. Naumova¹, T. F. Ovchinnikova¹, N. F. Rassoha², N. L. Makarova¹, N. A. Zhmakova¹

¹*Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus;*

²*Institute of Vegetable Growing of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

Abstract. Recent years studies have shown the promise of peat use and the certain types of the waste industrial processing of plant raw materials as the source of natural biologically active substances. Peat contains of the variety of the biologically active compounds of plant origin and humic substances formed in peat deposits during the decomposition of organic residues without access to oxygen. Rapeseed meal is obtained after the extraction of oil from rapeseed. It contains up to 38% protein. The use of meal in feeding animals is limited to a presence in its composition of toxic glucosinolates and erucic acid. The developed method of the joint hydrolytic destruction of peat and rapeseed meal allows to destroy toxic compounds and to obtain products containing humic acids activated during chemical treatment, melanoidins, low molecular weight carboxylic acids and amino acids. The results of laboratory and micro vegetation experiments on test cultures testify to the high cytokinin, gibberellin and the auxin activity of new preparation, which is especially clearly manifested in the early stages of plant development. In the presence of the low concentrations of a drug (0.001-0.005%), cell division and growth (stretching) become active, the seed germination energy increases by 8.7–11.2% and their germination capacity by 6.2–12.1%. At later stages of plant ontogeny, preparation stimulates the growth and development of above-ground organisms and a root system, as indicated by a 47.7 and 54.3% increase in their biomass, respectively. Thus, it can be concluded that products of joint hydrolytic degradation of peat and rapeseed meal have a pronounced biological activity.

Key words: peat; rapeseed meal; hydrolytic degradation; laboratory plant tests; the biological activity of cytokinins; gibberelins; auxins; germination; biomass increment.

For citation. Naumova G. V., Ovchinnikova T. F., Rassoha N. F., Makarova N. L., Zhmakova N. A. The biological activity of the joint hydrolytic products of peat and raxed shrone processing. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 217–223.

Введение. Биологически активные препараты широко используются в современном растениеводстве, животноводстве и биотехнологических производствах. При этом значительная часть их представлена синтетическими препаратами, высокотоксичными средствами защиты растений (фунгициды, гербициды, реторданты, дефолианты, инсектициды и др.), которые попадая в почву, воду, а затем в организм человека и животных вызывают их отравление, ослабление иммунитета, угрожают здоровью, а иногда и жизни [1–4].

В создавшейся ситуации все больший интерес у специалистов вызывают экологически безопасные, безвредные для человека и животных биологически активные препараты, получаемые из природного сырья, которые содержат целую гамму биологически активных соединений [5, 6].

Перспективным сырьем для получения экологически безопасных препаратов ростстимулирующего действия являются торф – источник широкого спектра биологически активных соединений растительного происхождения и гуминовых веществ, образующихся в торфяной залежи. Продукты его окислительно-гидролитической деструкции относятся к малоопасным соединениям (4-й класс опасности) и оказывают многогранное положительное действие на живую клетку, ускоряя энергетические и обменные процессы, стимулируя поступление в нее питательных веществ, рост и деление клеток [7, 8]. В настоящее время регуляторы роста растений из торфа широко используются в практике мирового и отечественного растениеводства для стимуляции роста и развития, адаптации растений к неблагоприятным условиям, повышения их иммунитета.

Биологическое действие гуминовых препаратов, получаемых на основе торфа, можно существенно усилить путем использования в качестве добавок к исходному сырью растительных отходов (рапсовый шрот, ростки солода, оболочки семян и др.), которые обогащают целевые продукты дополнительно новыми биологически активными соединениями, обеспечивая синергизм действия полученного комплексного препарата. В этой связи предложено использовать в составе нового гуматсодержащего препарата как добавку к сырью рапсовый шрот, богатый белковыми соединениями, способными деструктироваться при химической обработке сырья с образованием низкомолекулярных азотсодержащих компонентов, в том числе аминокислот.

Рапсовый шрот – отход переработки рапса, который образуется после извлечения масла из семян. Он содержит до 38 % протеинов и ряд витаминов [9]. Его используют в составе кормовых рационов сельскохозяйственных животных и птицы, но в небольших, строго регламентированных дозах из-за присутствия в нем токсичных глюкозинолатов и эруковой кислоты, отрицательно влияющих на сердечно-сосудистую систему, репродуктивные функции, метаболизм йода и других микроэлементов в организме животных.

Разработанный нами способ совместной химической переработки рапсового шрота и торфа позволяет избавиться от указанных токсичных веществ, разрушающихся при высоких температурах, и обогатить гуминовый препарат, содержащий активизированные гуминовые кислоты, меланоидины и карбоновые кислоты, азотсодержащими биологически активными соединениями – аминокислотами и биогенными аминами.

Цель работы – изучить биологическую активность нового регулятора роста, получаемого на основе торфа и рапсового шрота, в лабораторных опытах на тест-культурах растений.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования служил гидролизат торфо-рапсовой смеси.

Ростстимулирующую активность опытного образца нового гуминового препарата, полученного путем совместной гидролитической деструкции рапсового шрота и торфа, исследовали на тест-культурах растений в лабораторных условиях. Для этого использовали методы оценки гиббереллиновой, ауксиновой и цитокининовой активности, метод определения энергии прорастания и всхожести семян, а также микровегетационные опыты. Тесты проведены на фоне контрольного варианта – без использования регулятора роста растений и в сравнении с известным регулятором роста растений Гидрогуматом (эталон).

При определении цитокининовой активности в качестве тест-культуры использовали изолированные высечки листьев редиса, который выращивали в кассетах с почвой при хорошей освещенности. Высечку диаметром 5 мм делали из первого листа растения после его 24-часового выдерживания в темноте. Диски помещали на 2 ч в дистиллированную воду, а затем в чашку Петри на питательную среду. В опытных вариантах среда содержала добавки биологически активного гуминового препарата. Высечки в течение 18 ч выдерживали при температуре 25 °C под люминесцентными лампами (1000 лк). О цитокининовой активности препаратов судили по приросту дисков (диаметр, сухая и сырая масса). Повторность опыта – четырехкратная [10].

О гиббереллиновой активности препаратов судили по стимуляции ими прорастания семян салата по методике, описанной В. И. Кефели [11], которая включает замачивание семян салата в течение 8 ч при температуре 25 °C в темноте и проращивание его в водных растворах исследуемых препаратов в течение 60 ч в чашках Петри (в одной чашке – 100 семян) в темноте при температуре 30 °C.

По окончании опытов учитывали число проросших семян по отношению к общему количеству. Повторность опыта – четырехкратная.

Ауксиновую активность гуминовых препаратов оценивали на семенах редиса (сорт Розовый с белым кончиком), отличающегося быстрой всхожестью путем их проращивания в чашках Петри с фильтровальной бумагой. В чашки помещали по 100 семян редиса, которые заливали 5 мл водного раствора гуминовых препаратов (опытные варианты) или водой (контроль). Всхожесть подсчитывали в тот момент, когда в контроле прорастало 50 % семян. Повторность опытов – четырехкратная.

Влияние нового гуминового препарата на энергию прорастания и всхожесть изучали на семенах рапса и перца в соответствии с ГОСТом 12038-84. Семена предварительно в течение 24 ч замачивали в 0,001; 0,005 и 0,01 %-ных растворах препаратов (опытные варианты) и в воде (контроль). Набухшие семена раскладывали в чашки Петри по 50 шт. между слоями фильтровальной бумаги, смоченной водой. Чашки с семенами выдерживали в термостате при постоянной температуре 20 ± 5 °С. Энергию прорастания семян рапса определяли на 3-й день, перца – на 7-й, а всхожесть – на 6-й и 15-й день соответственно. Повторность опыта – четырехкратная.

Биологическую активность гуминового препарата изучали в микровегетационных опытах: методом растительного теста на водных культурах проростков кукурузы и при выращивании рассады перца. В первом случае семена кукурузы замачивали в воде в течение 5–6 ч при комнатной температуре, после чего проращивали на влажной фильтровальной бумаге в термостате при температуре 22–25 °С в течение 2–3 суток. Для опыта использовали проростки с длиной корней 15–20 мм, которые высаживали в стеклянные сосуды емкостью 0,5 л, закрытые полиэтиленовыми сетками, по 6–8 проростков на сосуд. В качестве питательной среды применяли стандартную смесь Прянишникова (контрольный вариант), следующего состава: NH_4NO_3 0,12 г/л, $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,103 г/л, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,06 г/л, KCl 0,08 г/л, FeCl_3 0,012 г/л, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,177 г/л, вода дистиллированная. В опытных вариантах к стандартной среде Прянишникова добавляли препараты в исследуемых концентрациях, считая на органическую массу. Растения выращивали 14 суток при температуре 21–25 °С, относительной влажности 30–60 %, освещенности 4000 лк, после чего определяли сухой вес их корневой и надземной части. Биологическую активность препаратов оценивали по приросту биомассы надземной части и корней в опытных вариантах по сравнению с контрольными из расчета на одно растение. Повторность – четырехкратная.

Для второго микровегетационного опыта использовали предварительно выращенную рассаду растений перца высотой около 4 см. Отобранные растения пикировали в специальные кассеты объемом по 100 см³, заполненные торфяным грунтом одинакового состава и влажности. Кассеты с рассадой помещали в вегетационную камеру под лампы дневного света, где поддерживалась температура 24–27 °С. Рассаду выращивали в течение 30 дней, поливая по мере необходимости равными количествами воды. Дополнительно, сразу после пикировки и еще раз через 10 дней, растения в опытных вариантах поливали 25 мл 0,1 и 0,2 %-ных растворов нового препарата – гидролизата торфо-рапсовой смеси, а в контрольном – таким же объемом воды. Повторность опыта – четырехкратная. При закладке опыта, а затем через 20 и 30 дней вегетации были проведены измерения высоты растений. В конце опыта отмытые от грунта растения были высушены до абсолютно сухого веса для определения выхода сухой биомассы в контроле и опытном варианте.

Результаты исследований. Как известно, рост растений обусловлен деятельностью фитогормонов – химических веществ, вырабатываемых в растениях и регулирующих их рост и развитие. К наиболее важными фитогормонам относятся ауксины, гиббереллины и цитокинины. Фитогормоны контролируют все этапы онтогенеза растений: прорастание семян, деление и растяжение клеток, процессы роста, цветения и завязывания плодов. Представляло интерес определение фитогормонной активности у нового препарата, получаемого на основе торфо-рапсового сырья на фоне известного регулятора роста растений Гидрогумата.

Результаты исследования цитокининовой активности препаратов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Влияние биологически активных препаратов на цитокининовую активность растений

Table 1. The influence of biologically active preparations on cytokinin plant activity

Вариант опыта	Концентрация препарата, %	Диаметр листовых дисков, % к контролю	Сухая масса листовых дисков, % к контролю
Контроль	–	100	100
Гидролизат торфо-рапсовой смеси	0,001	135,6	127,7
	0,005	153,9	143,6
	0,010	149,8	132,1
Гидрогумат (эталон)	0,001	120,8	124,2
	0,005	123,8	127,2
	0,010	134,8	130,9

Исследования показали, что оба препарата обладают сравнительно высокой цитокининовой активностью. Так, увеличение диаметра дисков по отношению к контролю в зависимости от концентрации препаратов достигало 21–54 %, а сухая масса дисков в опытных вариантах возрастила на 24–43 %. Однако наблюдалось существенное отличие по уровню цитокининовой активности у гидролизата торфо-рапсового сырья и Гидрогумата. Если для нового гидролизата увеличение диаметра дисков редиса составляет 49,8–53,9 % к контролю, то для Гидрогумата – только 23,8–34,8 % при одинаковой концентрации (0,005–0,01 %) в питательной среде.

Судя по полученным данным (табл. 2), гиббереллиновая активность препаратов существенно не отличалась и находилась на уровне 57–64 % прироста по отношению к контролю. При этом максимальное положительное воздействие нового препарата на семена редиса проявляется при его минимальном присутствии в среде (0,001 %).

Важной группой веществ, стимулирующих рост растений, являются ауксины. Наиболее изученной из них является β -индолилуксусная кислота (ИУК). Именно ее многие исследователи считают главным ауксином, присутствующим в растениях. ИУК и другие ауксины способствуют растяжению клеток и, следовательно, общему росту органов растений. Они активизируют биосинтез белка и других высокомолекулярных соединений, а также усиливают приток питательных веществ в клетку.

Данные о влиянии биологически активных препаратов на ауксиновую активность представлены в табл. 3. Как видно из полученных данных, препараты обладают выраженной ауксиновой активностью. При этом наиболее высокая ауксиновая активность проявляется при концентрации 0,005 % в среде. Гидролизат торфо-рапсовой смеси проявил более высокую активность (111,5–122,1 %), чем Гидрогумат (109,9–118,6 %).

Результаты опытов по изучению влияния нового гуминового препарата на энергию прорастания и всхожесть семян рапса и перца (на фоне Гидрогумата) представлены в табл. 4 и 5. Как свидетельствуют полученные данные, новый препарат при всех исследуемых концентрациях проявляет стимулирующее действие, повышая как энергию прорастания семян, так и их всхожесть. При этом в опыте на семенах рапса более эффективной в обоих вариантах оказалась концентрация 0,005 %. Так, при обработке семян рапса 0,005 %-ным раствором исследуемого препарата отмечено повышение их энергии прорастания на 11,2 % и всхожести – на 6,2 %. При использовании Гидрогумата в той же концентрации эти показатели несколько ниже и достигают 9,9 и 4,0 % соответственно.

Таблица 2. Влияние биологически активных препаратов различной природы на гиббереллиновую активность

Table 2. The influence of biologically active preparations of different nature on gibberellic activity

Вариант опыта	Концентрация препарата, %	Гиббереллиновая активность, % к контролю
Контроль	–	100,0
Гидролизат торфо-рапсовой смеси	0,001	160,2
	0,005	157,0
	0,010	157,4
Гидрогумат (эталон)	0,001	158,3
	0,005	163,9
	0,010	160,0

Таблица 3. Влияние биологически активных препаратов на ауксиновую активность

Table 3. The influence of biologically active preparations on auxin activity

Вариант опыта	Концентрация препарата, %	Ауксиновая активность, % к контролю
Контроль (фон)	–	100,0
Фон + гидролизат торфо-рапсовой смеси	0,001	115,3
	0,005	122,1
	0,010	111,5
Гидрогумат (эталон)	0,001	112,8
	0,005	118,6
	0,010	109,9

Таблица 4. Влияние нового биологически активного препарата на энергию прорастания и всхожесть семян рапса**Table 4. The influence of new biologically active preparation on the energy of germination and the germination of rape seeds**

Вариант опыта (обработка препаратом)	Концентрация препарата, %	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль (вода)	–	70,4	85,9
Опытный препарат	0,001	78,8	89,0
	0,005	81,6	92,1
	0,010	79,3	90,6
Гидрогумат (эталон)	0,001	79,1	88,5
	0,005	80,3	89,9
	0,010	78,4	88,2

Таблица 5. Влияние нового препарата на энергию прорастания и всхожесть семян перца**Table 5. The influence of new preparation on the energy germination and the germination of pepper seeds**

Вариант опыта (обработка препаратом)	Концентрация препарата, %	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %
Контроль (вода)	–	33,4	46,2
Опытный препарат	0,001	40,7	54,2
	0,005	42,1	58,3
	0,010	43,7	59,9
Гидрогумат (эталон)	0,001	39,9	49,0
	0,005	40,3	52,6
	0,010	41,8	57,4

Таблица 6. Влияние гуминовых препаратов на рост и развитие растений кукурузы**Table 6. The influence of humic preparations on the growth and development of corn plants**

Вариант опыта	Концентрация препарата, %	Выход сухой биомассы, % к контролю	
		Надземная часть	Корни
Фон (питательная среда)	–	100,0	100,0
Фон + гидролизат торфо-рапсовой смеси	0,001	147,7	154,3
	0,005	138,8	145,4
	0,010	121,5	140,1
Гидрогумат (эталон)	0,001	123,0	131,2
	0,005	122,1	133,8
	0,010	118,3	128,7

В опыте на семенах перца самый высокий стимулирующий эффект наблюдался при применении препаратов в концентрации 0,01 %. В этих вариантах опыта энергия прорастания семян увеличилась на 10,3 % в случае нового препарата и на 8,4 % при применении Гидрогумата, а всхожесть возросла на 13,7 и 11,2 % соответственно. С уменьшением концентрации препаратов до 0,001 % отмечено некоторое снижение эффекта. Так, энергия прорастания семян в случае нового препарата увеличилась на 7,3 %, Гидрогумата – на 6,5, а всхожесть – на 8,0 и 2,8 % соответственно.

Степень биологического действия гидролизата торфо-рапсовой смеси изучали также в микровегетационных опытах: методом растительного теста на водных культурах проростков кукурузы и при выращивании рассады перца.

Влияние нового препарата на рост проростков растений кукурузы и их корневую систему в сравнении с контрольным (вода) эталонным вариантом (Гидрогумат) приведены в табл. 6. Результаты теста показывают, что биологическая активность гидролизата смеси торфа и рапсового шрота превышает активность Гидрогумата в среднем на 10–20 %, при этом более эффективно стимулируется развитие корневой системы растений (прирост биомассы составил 45–54 %). Применение препаратов в концентрациях 0,005–0,001 % позволяет достичь более высокого прироста биомассы кукурузы, чем при их использовании в большей концентрации.

Таблица 7. Биометрические показатели рассады перца в микровегетационном опыте**Table 7. The biometrical markers of pepper seeds in micro-vegetation experiment**

Вариант опыта	Высота растений, см			Средний прирост растений				Сухая биомасса, г		Средний прирост	
	начало опыта	20 дней	30 дней	через 20 дней		через 30 дней		опытные растения	средняя одного растения	биомассы к контролю	
				см	%	см	%			г	%
Контроль	4,0	7,0	12,6	3,3±0,23	78,0	8,7±0,15	212,2	0,2909	0,2949±0,0053	–	–
	4,0	7,1	12,3					0,2902			
	4,2	7,4	13,2					0,3011			
	4,3	7,6	13,0					0,2974			
0,1 %-ный раствор препарата	4,0	7,9	13,6	3,8±0,25	90,2	9,8±0,11	239,0	0,3693	0,3730±0,0031	0,0781	26,5
	4,2	8,0	14,1					0,3717			
	4,1	7,6	13,8					0,3710			
	4,0	7,8	14,0					0,3800			
0,2 %-ный раствор препарата	4,1	7,4	13,3	3,5±0,18	82,9	9,5±0,30	231,7	0,3625	0,3668±0,0061	0,0719	24,4
	4,0	7,5	13,6					0,3678			
	4,2	7,4	14,1					0,3721			
	4,0	7,7	13,4					0,3648			

Во втором микровегетационном опыте рост растений перца оценивали по отношению к контрольному варианту (поливы водой). Полученные данные представлены в табл. 7. Согласно результатам проведенных исследований, наиболее активным ростом отличались растения, которые поливали 0,1 %-ным раствором исследуемого препарата. Так, уже через 20 дней вегетации средний прирост растений в этом варианте составил 7,8 см (90,2 %) против 7,3 см (78,0 %) в контроле. Через 30 дней вегетации разница в приросте у растений этого варианта опыта и контрольных достигла 26,8 %. В варианте, где для полива использовали 0,2–0,5 %-ный раствор гидролизата, растения опережали в росте контрольные на 4,9 % через 20 дней и на 19,5 % – через 30 дней вегетации, а выход сухой биомассы растений в опытных вариантах превышал контрольный на 26,5 и на 24,4 % соответственно.

Заключение. Таким образом, новый препарат, полученный при совместной гидролитической переработке рапсового шрота и торфа, обладает выраженным биологическим действием, высокой цитокининовой, гиббереллиновой и ауксиновой активностью, что проявляется уже на ранних стадиях развития растений в повышении энергии прорастания и всхожести семян. На более поздних этапах развития растений исследуемый препарат активизирует ростовые процессы, о чем свидетельствуют ускорение их роста и увеличение прироста биомассы надземной части и корней.

Список использованных источников

- Шилов, И. А. Экология / И. А. Шилов. – М. : Высшая школа, 2000.
- Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния окружающей среды / Ю. А. Израэль. – М. : Гидрометеоиздат, 1984.
- Пономаренко, Ю. А. Питательные и антипитательные вещества в кормах / Ю. А. Пономаренко. – Минск : Экоперспектива, 2007.
- Голышин, Н. М. Фунгициды / Н. М. Голышин. – М. : Колос, 1983. – С. 26–33.
- Наумова, Г. В. Торф в биотехнологии / Г. В. Наумова. – Минск : Наука и техника, 1987.
- Биологически активные вещества растительного происхождения / А. И. Шретер [и др.]. – М. : Наука, 2002.
- Биологически активные гуминовые препараты и различные аспекты их физиологического действия / Г. В. Наумова [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 1996. – Вып. 1. – С. 99–103.
- Наумова, Г. В. Торф и продукты его переработки / Г. В. Наумова, А. Э. Томсон. – Минск : Беларуская навука, 2009.– С. 235–286.
- Пилюк, Я. Э. Рапс в Беларуси / Я. Э. Пилюк. – Минск : Бизнесофсет, 2007.
- Кулаева, О. Н. Цитокинины, их структура и функция / О. Н. Кулаева. – М. : Наука, 1973.
- Кефели, В. И., М. В. Филимонова, Р. В. Макарова. – Пушкино : Ротапринт ОНТИ. – 1988.
- ГОСТ 12038–84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. – М. : Издательство стандартов, 1985.

References

1. Shilov I. A. *Ekologiya [Ecology]*. Moscow, High School, 2000.
2. Izrael Yu. A. *Ekologiya i control sostoyaniya okruzhayuschej sredy [Ecology and environmental control]*. Moscow, Hydrometeo Publ., 1984.
3. Ponomarenko Yu. A. *Pitatelnyie i antipitatelnyie veschestva v kormah [Nutritious and anti-nutritious substances in feed]*. Minsk, Ecoperspective Publ., 2007.
4. Golyishin N.M. *Fungitsidyi [Fungicides]*. Moscow, Kolos Publ., 1983.
5. Naumova G. V. *Torf v biotekhnologii [Peat in biotechnology]*. Minsk, Science and technics, 1987.
6. Shreter A. I., *Biologicheski aktivnyie veschestva rastitel'nogo proishozhdeniya [Biologically active substances of vegetable origin]*. Moscow, Science, 2002.
7. Naumova G. V. *Biologicheski aktivnyie guminovye preparaty i razlichnyie aspekti ih fiziologicheskogo deystviya [Biologically active humic preparations and different aspects of its physiological actions]*. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov = Proc. of the Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus "Nature Management"*, Minsk, 1996, vol. 1, pp. 99–103.
8. Naumova G. V., Tomson A. E. *Torf i produkty ego pererabotki [Peat and the products of its proceeding]*. Minsk, Belarusian Science, 2009.
9. Pilyuk Ya. E. *Raps v Belarusi [Rape in Belarus]*. Minsk, Businessofset, 2007.
10. Kulaeva O. N. *Tsitokininy, ih struktura i funktsiya [Cytokinins, their structure and function]*. Moscow, Science, 1973.
11. Kefeli V. I., Filimonova M. V., Makarova R. V. *Metodicheskie rekomendatsii "Laboratornyie rabotyi po kursu "Biotekhnologiya" [Methodical recommendations "Laboratory works for the topic 'Biotechnology' "]*. Puschino, Rotaprint ONTI, 1988.
12. GOST 12038–84. *Semena selskogo hozyaistvennyh kultur. Metodyi opredeleniya vshozhesti*. [State Standard 12038–84. Seeds of agricultural crops. Methods for determining of germination]. Moscow, Standartinform Publ., 1985.

Информация об авторах

Наумова Галина Васильевна – д-р техн. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Овчинникова Татьяна Феликсовна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Рассоха Николай Федорович – канд. сель.-хоз. наук, науч. сотрудник, Институт овощеводства НАН Беларуси (ул. Ковалева, 2, 223013, Минский район, пос. Самохваловичи, Республика Беларусь). E-mail: rassocha@hause.gov.ru

Макарова Наталья Леонидовна – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Жмакова Надежда Анатольевна – канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: zhmakova@mail.ru

Information about the authors

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, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Tatiyana Ovchinnikova – 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

Nicolayi Rassocha – Ph.D. (Technical), Researcher, Institute of vegetable growing of National Academy of Sciences of Belarus (2, Kovaleva Str., 223013, Minsk region, village Samohvalovichy, Republic of Belarus). E-mail: rassocha@hause.gov.ru

Natalyia 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, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

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, Republic of Belarus). E-mail: zhmakova@mail.ru

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ АСПИРАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ТОРФЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н. И. Березовский, В. В. Борисейко

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

Аннотация. В условиях стремительного развития возобновляемых источников энергии рассмотрена возможность дальнейшего использования торфяного топлива, занимающего выгодную ступень в генетическом ряду твердых топлив. Представлены экологические и экономические подходы к комплексной модернизации существующих технологий обогащения горных пород на основе анализа современных европейских разработок.

Ключевые слова: торф; циклон; скруббер; фильтр; утилизация; ультразвук.

Для цитирования. Березовский Н. И., Борисейко В. В. Экологические и экономические аспекты использования инновационных аспирационных систем в торфяной промышленности // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 224–237.

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASPECTS OF THE USE OF INNOVATIVE ASPIRATION SYSTEMS IN PEAT INDUSTRY

N. I. Berezovsky, V. V. Boriseyko

Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Abstract. In the conditions of wide development of renewable energy sources, the possibility of further use of peat fuel, occupying an advantageous level in the genetic range of solid fuels, was considered. Ecological and economic approaches to the comprehensive modernization of existing technologies for the production of fuel briquettes based on the analysis of modern developments are presented.

Key words: peat; cyclone; scrubber; filter; recycling; ultrasound.

For citation. Berezovsky N. I., Boriseyko V. V. Environmental and economic aspects of the use of innovative aspiration systems in peat industry. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 224–237.

Введение. Торф относится к классу твердых горючих ископаемых – каустобиолитов. Основным источником накопления торфа являются болотные растения. Торф образуется в результате биохимического превращения растительных остатков в переувлажненных условиях при ограниченном доступе воздуха. Генетический ряд твердых топлив – растение, торф, бурый уголь, каменный уголь, антрацит, графит [1].

Выявленные и разведанные запасы торфа в Республике Беларусь составляют около 4,0 млрд т, благодаря чему отечественные базовые технологии использования торфа уже развиваются на протяжении почти 90 лет. В Беларуси торф в первую очередь используется для отопления домов. Одна тонна торфяных брикетов заменяет 2,5–3,0 м³ дров или 1,6 т бурого угля [2].

В последнее время набирает обороты использование торфяного топлива в большой энергетике и строительной отрасли. Так, например, цементная промышленность безотходно сжигает торфяные брикеты. Зола в процессе обжига переходит в состав ингредиентов готового цемента. Однако широкое развитие возобновляемых источников энергии все чаще ставит под вопрос развитие торфяной промышленности в Беларуси.

Изучение зарубежного опыта. Ученые и промышленники многих стран мира все чаще и чаще задаются вопросом: какие виды топлива обеспечат в ближайшем будущем и в перспективе получение электроэнергии и тепла. Бесспорным лидером энергетических реформ в мире является Германия. В течение примерно 10 лет растет вклад в энергообеспечение Германии возобновляемых источников энергии, таких как энергия ветра и солнца. Децентрализация малых электростанций на биогазе или древесных отходах побеждает энергию и тепло, связанные с центральным отоплением и электростанциями [3].

Хотя энергия солнца, ветра и других возобновляемых источников энергии имеет большую долю потребления в Германии, ископаемые источники по-прежнему доминируют. И такой ситуация будет оставаться еще долгое время. Эксперты сходятся во мнении: для того чтобы компенсировать колебания солнечной и ветровой энергии, еще в течение десятилетий понадобятся обычные электростанции, которые спокойно и надежно работают с постоянной производительностью. Для этого и впредь будут сжигаться газ и уголь (рис. 1) [3].

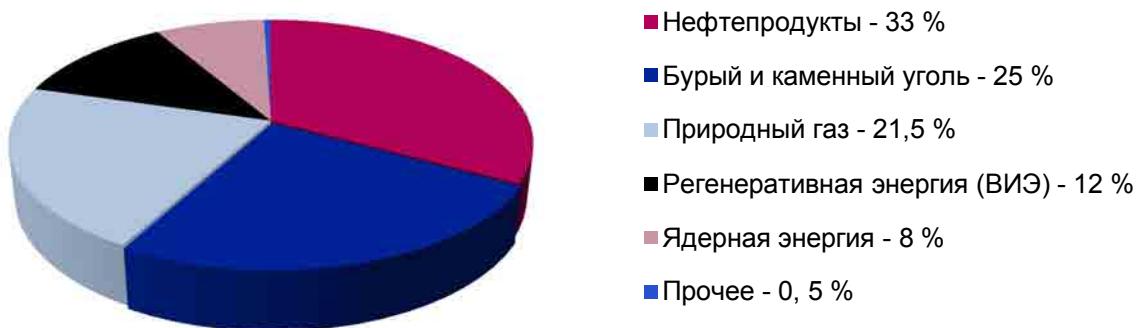


Рис. 1. Источники энергии Германии

Fig. 1. Sources of energy in Germany

Институт солнечных энергетических систем Fraunhofer ISE опубликовал традиционную ежегодную брошюру «Электрическая генерация в Германии» (Power generation in Germany — assessment of 2016), содержащую предварительные статистические итоги прошедшего года. В 2016 г. объемы производства электричества на основе солнца и ветра впервые за много лет не выросли, а сократились.

Нет, мощности в солнечной и ветроэнергетике не уменьшились. Они выросли, но подвела погода. Было меньше, чем обычно, и ветра, и солнца. Выработка солнечных электростанций сократилась на 3,0 %, в ветроэнергетике — на 1,5 %. В 2016 г. по сравнению с 2015 г. также сократилась выработка атомных и угольных электростанций. Атомная энергетика произвела на 7,8 % меньше энергии, энергетика на основе бурого угля — на 3,4, энергетика на основе каменного угля — 5 %. А вот генерация на основе природного газа выросла на внушительные 45,9 %(!) во многом благодаря низким ценам на голубое топливо и, напротив, высоким ценам на уголь [4].

13 июня 2016 г. был опубликован очередной ежегодный прогноз развития энергетики 2016 New Energy Outlook от Bloomberg New Energy Finance (BNEF) [4].

К 2040 г. 60 % генерирующих мощностей будет приходиться на безуглеродные источники энергии (ВИЭ + атомная энергетика). 64 % новых мощностей, которые будут введены к этому сроку, придется на солнце и ветер. Они же привлекут порядка 60 % инвестиций в электроэнергетику, общий размер которых аналитики BNEF оценивают в 11,4 трлн долл. США.

Доля солнца и ветра в общем объеме генерации в мире к 2040 составит 30 % (сегодня — около 5 %). В ряде стран (названы Германия, Великобритания, Мексика, Австралия) доля указанных ВИЭ превысит 50 %. В Европе доля возобновляемой энергетики составит 70 % генерации.

«Золотой век» природного газа, о котором говорили в начале последнего десятилетия, так и не наступит. Стоимость солнечной и ветряной генерации снижается так быстро, что газ не сможет составить им серьезной конкуренции. Наилучшие перспективы природного газа — в США, где, по предположению BNEF, к 2040 г. может быть добавлено почти 100 ГВт новых газовых мощностей. Пик потребления углеводородов в электроэнергетике придется на 2025 г. (рис. 2) [4].

Развитие рынка электромобилей обеспечит за 25 лет дополнительный спрос на электроэнергию в объеме 2701 ТВт·ч. Электромобили будут потреблять примерно 8 % мировой электроэнергии, станут конкурентоспособными по цене к 2025 г., а их доля к 2040 г. составит 25 % мирового парка автомобилей.

К 2040 г. порядка 10 % установленной энергетической мощности в глобальном масштабе будет приходиться на малые (распределенные) фотоэлектрические электростанции. В некоторых странах их доля будет существенно выше.

В отличие от сырьевого рынка, где рост спроса порождает рост цен, на рынке энергетических технологий повышение спроса (например, на фотоэлектрические модули или аккумуляторы) способствует увеличению масштабов производства, которое, в свою очередь, ведет к снижению цен, что стимулирует новый спрос. Таким образом, увеличение доли электромобилей и расширение производства аккумуляторов благотворно влияют на рынок систем хранения энергии в целом, делая их использование все более доступным. К 2020 г. бытовой накопитель электроэнергии станет стандартной опцией домашней солнечной электростанции [4].

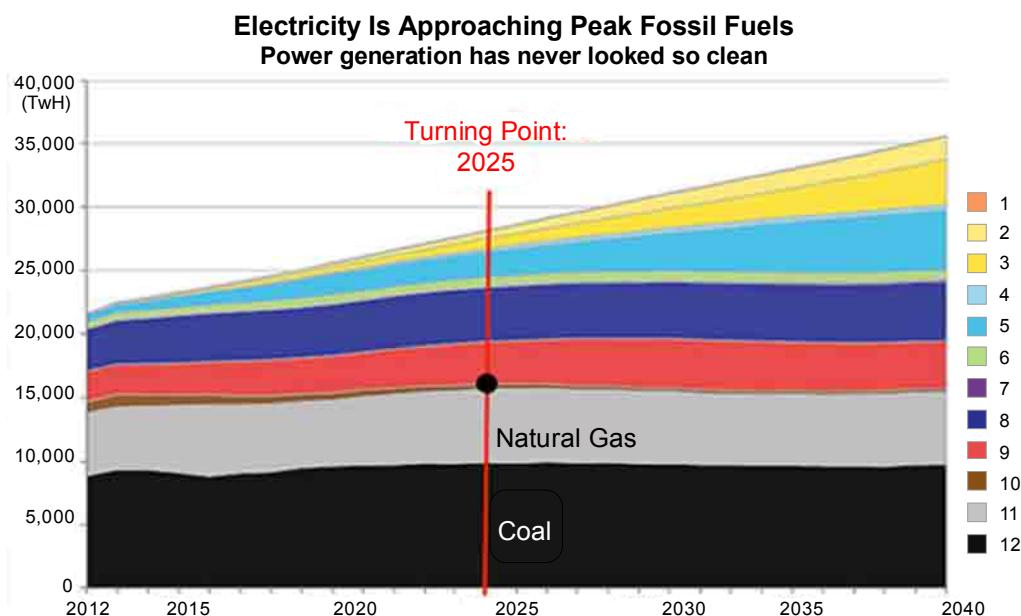


Рис. 2. Прогноз развития энергетики (по данным BNEF):
 1 – солнечные тепловые коллекторы; 2 – фотоэлектрические преобразователи малой мощности;
 3 – высокоеффективные фотоэлектрические преобразователи; 4 – наземная зональная ветроэнергетика;
 5 – береговая ветроэнергетика; 6 – энергия биомассы; 7 – геотермальная энергия; 8 – энергия воды;
 9 – ядерная энергия; 10 – нефтепродукты; 11 – природный газ; 12 – каменный уголь

Fig. 2. Forecast of energy development (according to BNEF):
 1 – Solar thermal; 2 – Small-PV solar; 3 – Utility-PV solar; 4 – Offshore wind; 5 – Onshore wind;
 6 – Biomass/WtE; 7 – Geothermal; 8 – Hydro; 9 – Nuclear; 10 – Oil; 11 – Gas; 12 – Coal

В 2030-х годах солнце и ветер станут самыми дешевыми способами производства электроэнергии практически во всем мире.

Судьба угольных и газовых электростанций – быть дорогими резервными (backup) мощностями для дешевой ВИЭ генерации.

Объем угольной генерации до 2040 г. сохранится примерно на нынешнем уровне. В большинстве стран, в том числе в Китае, производство электричества на основе угля будет сокращаться, а вот в Индии существенно вырастет. Индия, где потребление электроэнергии увеличится в 4,0 раза, превратится в основного мирового эмитента парниковых газов.

Если развитие энергетики будет происходить в соответствии с данным прогнозом BNEF, достичь климатических целей, зафиксированных в Парижском соглашении, т. е. ограничить глобальное потепление 2 °C, не получится. Необходимы дополнительные действия правительств, которые в данном документе не рассматриваются [4].

Результаты исследований. По элементному составу торф занимает промежуточное положение в ряду твердых топлив и смыкается верхней своей границей с бурьми углами, а нижней – с дровами (табл. 1) [1].

Взаимосвязь экологических и экономических аспектов в совокупности с применением инновационных технологий объективно подтверждают необходимость дальнейшего развития производства твердого топлива из торфа.

Таблица 1. Элементный состав твердых видов топлива

Table 1. Elemental composition of solid fuels

Вид топлива	Состав горючей массы, %				
	Углерод	Водород	Кислород	Азот	Сера
Дрова	51,0	6,1	42,3	0,6	–
Торф	54,0–63,0	5,9	34,8	2,0	0,3
Бурый уголь	55,0–80,0	3,8–6,3	17,0–27,0	1,0–3,0	До 3,0
Каменный уголь	75,0–90,0	4,5–5,5	4,5–15,0	–	До 6,0
Антрацит	92,0–97,0	2,0–3,0	1,0–3,0	–	До 6,0
Сланцы	61,0–74,0	7,5–9,5	11,0–16,0	0,3–1,2	1,8–4,8

Из сравнительного анализа (табл. 2) следует, что выбросы оксида углерода при сжигании каменного угля превышают в 1,36 раза выбросы при сжигании торфяных брикетов, а диоксида серы – в 6,1 раза [5]. Что касается бурого угля, выбросы диоксида серы превышают в 2,7 раза, лишь выбросы оксида углерода бурого угля, наоборот, ниже значения торфяных брикетов в 1,3 раза. Наряду с этим необходимо отметить, что выбросы твердых частиц при сжигании каменного угля в сравнении с брикетом превышают в 2,7 раза, соответственно бурого угля – в 1,98 раза. Эти явные преимущества дают основания для успешной конкуренции на рынке твердых видов топлива.

В Республике Беларусь одним из ведущих направлений механической переработки торфа является брикетирование. Торфяные брикеты – удобное и выгодное, в первую очередь бытовое топливо. Они содержат мало влаги (14–20 %) и обладают высокой теплотой сгорания (до 4500 ккал/кг).

Технологии и оборудование основных европейских стран по переработке сыпучих материалов, (возобновляемые источники энергии – биомасса из кукурузы, соломы, опавших листьев, древесных опилок и др.) для их дальнейшего сжигания по получению тепла и энергии очень близки к технологии получения торфяных брикетов и пеллет и поэтому представляют интерес для торфяной отрасли Республики Беларусь. Предлагаемые технологии представлены в виде комплексных системных решений: сбор, доставка, хранение, подготовка, переработка и направления использования энергии.

Отличительной особенностью некоторых комплексов является применение закрытых систем подачи сырья на подготовку, сушку (варку опавших листьев) (разработка компании SUNCOAL), прессование. При этом широкое применение получил пневмотранспорт с нагнетающими или всасывающими системами (разработка компании NESTRO). Все системы технологического транспорта оснащены рукавными фильтрами (разработчики: TSF-FILTER, PIONIER, NESTRO, SIMATEK), позволяющими повторно применять отфильтрованное сырье, что значительно улучшает культуру производства, увеличивает выход товарной продукции и сводит до минимума выбросы в окружающую среду.

В условиях жесточайшей конкуренции на рынке энергоносителей требуется оптимизация технологических процессов добычи и переработки торфа с учетом разработок ведущих европейских компаний. Однако приобретение оборудования европейского производителя влияет на снижение положительного сальдо Республики Беларусь. Значительное снижение себестоимости торфяных брикетов в первую очередь возможно путем изменения традиционной технологии добычи торфа скреперами. Так, например, применение пневматической уборки торфяной крошки относится к периоду возникновения поверхностно-послойного способа добычи фрезерного торфа и основано на исследованиях ведущего ученого в области торфяной механики С. Г. Солопова [2, 6]. Однако применение валового учета добычи торфа в тоннах привело к незаслуженному исключению из практики пневматической уборки фрезерного торфа для брикетирования.

При пневматической уборке торфа вследствие отсутствия подфрезерования торфяной залежи исключается увлажнение фрезерной крошки. Регулирование скорости воздуха во входном отверстии сопла и изменение поступательной скорости пневмоуборочной машины позволяют подобрать такой режим работы, при котором обеспечивается выборочная уборка частиц измельченного торфа определенной влажности и крупности. Фракционный состав торфа при пневматической уборке более однороден, в нем почти отсутствуют посторонние включения, а сыпучесть существенно улучшается. Исследования, проведенные в разное время развития торфяной промышленности, показали, что при этом способе направленное перемещение измельченного торфа под воздействием газового потока

Таблица 2. Количество загрязняющих веществ при сжигании 1 т твердых видов топлива

Table 2. The amount of pollutants in the combustion of 1 ton of solid fuels

Загрязняющее вещество	Код вещества	Класс опасности	Количество загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферный воздух				
			тонн в год			Отношение к торфобрикету, количество раз	
			Бурый уголь	Каменный уголь	Торфяной брикет	Бурый уголь	Каменный уголь
Углерода оксид	0337	4-й	0,0116	0,0212	0,0156	0,74	1,34
Азота IV оксид	0301	2-й	0,0028	0,0067	0,0048	0,58	1,40
Азота II оксид	0304	3-й	0,0005	0,0011	0,0008	0,63	1,38
Серы диоксид	0330	3-й	0,0040	0,0092	0,0015	2,67	6,10
Твердые частицы	2902	3-й	0,0518	0,0699	0,0261	1,98	2,68
<i>Всего:</i>	–	–	0,0707	0,1081	0,0488	1,43	2,22

может обеспечить высокие технико-экономические показатели процесса и, что особенно важно, заданное качество продуктов переработки торфяного сырья и значительное уменьшение его потерь. Однако указанный способ мало используется при добыче и переработке торфа. Это можно объяснить недостаточной изученностью процесса, недостатком опыта эксплуатации нового оборудования и отсутствием инженерных методик расчета оптимальных режимов работы различных систем пневмотранспорта торфа [7].

Применяемый ранее для уборки торфа пневматический комбайн КПФ-6,4 имеет расчетную производительность $B_{max} = 30$ тыс. т фрезерного торфа за сезон (при условной влажности 40 %, зольности до 23 %). Однако, как показала практика, из-за некоторых неровностей поверхности расстила при движении пневмоуборочных машин происходит деформация ее сопел, что увеличивает эксплуатационные затраты, простоя на ремонт и снижает их фактическую производительность до 30 %. Для увеличения производительности и сохранения постоянных параметров пониженней влажности убираемого торфа (в среднем до 24 %), необходимо обеспечить регулировку высоты всасывающих сопел через опорные катки, копирующие поверхность расстила, т. е. усовершенствовать конструкцию комбайна. Более того, применяемые циклоны-осадители обеспечивают до 60 % улавливания убираемого фрезерного торфа. Применение непосредственно в бункере машины рукавных фильтров, встроенных в динамический циклон, позволит увеличить производительность самоходных пневмоуборочных комбайнов минимум на 20 % и, соответственно, оптимально использовать метеорологические условия сезона и увеличить сезонный сбор торфа с гектара.

В современных условиях бережного отношения к энергоносителям вести учет и сравнение способов добытого топлива только в тоннах не совсем корректно. Государственной программой «Торф» на 2008–2010 гг. и на период до 2020 г., утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23.01.2008 г. № 94, поставлена задача внедрения новых и совершенствование существующих технологий для добычи, переработки и использования торфа. Целесообразно сравнить два способа уборки фрезерного торфа: существующий, наиболее используемый в настоящее время механический скреперный способ машинами типа УМПФ-8 и пневмоуборочный, самоходными комбайнами КПФ-6,4 с усовершенствованными всасывающими соплами.

Необходимо отметить, что при механической уборке влажность добытого торфа достигает 40÷50 %, а при пневматической уборке диапазон влажности составляет 18÷30 %.

При пересчете состава твердого топлива с одной массы на другую через коэффициент влажности, коэффициент зольности и достижении фактической средней влажности 24 %, средней зольности 14 % добыча пневмоуборочным комбайном КПФ-6,4 составит 21 185 т/сезон. Добыча торфа механическим способом МТФ-43 А при фактической средней влажности 45 % и зольности 14 % составит 24 389 т/сезон, т. е., на первый взгляд, производительность одной машины за сезон в тоннах механическим способом в 1,15 раза выше, чем пневматическим. Для уточнения реальной объективной картины расчет производительности уборочных машин необходимо выполнять в тоннах условного топлива, используя низшую теплоту сгорания горючей массы, а также влажность и зольность добываемого топлива. Тепловой эквивалент фрезерного торфа, убранного механическим и пневматическим способом, составляет 0,282 (при влажности 45 %) и 0,464 (при влажности 24 %) и фактически составит 6877 т усл. т. (при влажности 45 %), 9830 т усл. т. (при влажности 24 %) соответственно [8].

Таким образом, максимальная производительность в тоннах условного топлива фрезерного торфа, убранного пневматическим способом, в 1,43 раза выше, чем убранного механическим способом.

При этом необходимо отметить, что при пневматическом способе добычи торфа нет необходимости затрачивать энергию на перевозку и испарение лишней воды на заводе, так как ее испарение обеспечивается в естественных условиях сушки (18÷30 % влажности) солнечной энергией на полях добычи за счет увеличения цикловых сборов тонкими равномерными слоями.

Однако одномоментный переход на эти технологии невозможен. За 2008–2015 гг. многие торфопредприятия Беларуси осуществили реконструкцию и модернизацию – обновление основных фондов брикетных заводов, а также строительство полей добычи торфа на торфяных месторождениях с целью обеспечения добычи фрезерного торфа, являющегося исходным сырьем для производства брикетов.

На выполнение мероприятий в рамках реализации Госпрограммы «Торф» организациями торфяной отрасли Минэнерго за период с 2008 по 2015 г. направлено 1461,1 млрд руб., в том числе 745,2 млрд руб. средств инновационного и инвестиционного фондов, 683,1 млрд руб. собственных средств организаций и 32,8 млрд руб. кредитных и привлеченных средств [9].

И этот факт никак нельзя сбрасывать со счетов при выборе энергоисточников для дальнейшего развития республики, а также для реализации торфяной продукции на экспорт. Потенциальные возможности работающих брикетных заводов в Республике Беларусь в настоящее время составляют около 1,5 млн т торфяных брикетов в год, что эквивалентно 0,9 млн т усл. т.

Однако фактически производство загружено только на чуть больше, чем 70 %, что вызвано недостаточным спросом данного вида энергоносителя (в 2014 г. произведено 1,095 млн т топливных брикетов, в 2015 г. – 676,8 тыс. т). Это свидетельствует об увеличении себестоимости произведенных брикетов, не позволяющее достойно конкурировать на энергетическом рынке.

Наряду с этим необходимо отметить, что ситуация постепенно выравнивается, что подтверждается наращиванием объемов производства торфяных брикетов: в 2016 г. – 848,2 тыс. т, в 2017 г. – 975,5 тыс. т. Это произошло в первую очередь благодаря увеличению промышленного потребления на внутреннем рынке.

Вполне очевидно и бесспорно то, что в Республике Беларусь также необходимо развивать технологии возобновляемых источников энергии. Однако в одночасье это невозможно ввиду больших капиталовложений и ряда других причин. В настоящее время наша республика пока не имеет таких возможностей развития энергетики, как Германия, и поэтому очень актуальным по-прежнему является использование ископаемых топлив, в том числе природного газа и торфа на базе уже созданной инфраструктуры. При этом необходимо отметить, что по состоянию на 01.01.2018 г. 1 т усл. т. для отопления, полученная из газа, в 1,96÷3,29 раза дороже полученной из торфяного брикета. Значительным аспектом является и то, что газ импортируется, а торф имеется в республике. Это в первую очередь топливо в виде торфяных брикетов, а также в виде фрезерного торфа для пылевидного сжигания.

Наряду с этим очевидна необходимость снижения издержек путем достаточного мониторинга рынка и внедрения инновационных технологий.

Захата окружающей среды от загрязнения в современных условиях развития мировой промышленности – одна из важнейших задач человечества. При переработке горных пород существенную опасность представляет породная пыль. Во-первых, она опасна для здоровья работников добывающих и перерабатывающих предприятий, когда риску подвергаются верхние и нижние дыхательные пути человека; во-вторых, взрывоопасность пыли большинства горных пород ставит под угрозу жизнь работающих людей, а также может привести к выходу из строя дорогостоящего оборудования. Поэтому борьба с пылью занимает одно из основных мест в общем комплексе работ по улучшению условий труда и повышению безопасности горных работ [10].

На рис. 3 представлены способы осаждения пыли в зависимости от вида пыли и размеров ее частиц [11]. В верхней части рисунка представлены следующие виды материалов, образующих пыль с размерами частиц, мкм:

табачный дым (Tabakrauch).....	0,01÷0,18
сухие красители (Pigmente).....	1÷10
серебро-брон (Silberbrom).....	0,1÷0,4
цемент (Zement).....	10÷110
сажа (Ruß).....	0,04÷0,17
хлорид аммония (Ammoniumchloridrauch).....	0,17÷1,60
летучая зола (Flugasche).....	2,7÷100,0
оксид титана (Titanoxid).....	0,1÷0,4
соль для удобрения (Dungesalze).....	45÷1200
оксид цинка и магния (Zinkoxid, Magnesiumoxid)....	0,01÷0,36
дисперсные красители (Dispersionsfarbe).....	1÷100

В нижней части рисунка представлены способы осаждения пыли с помощью систем, позволяющих улавливать частицы в соответствующих диапазонах, мкм:

отстойники (Absetzkammern).....	20÷900
циклоны (Zyklone).....	3,6÷650
тканевые фильтры (Gewebefilter).....	0,01÷70
мокрые скрубберы (Nasswäscher).....	0,06÷270
электрофильтры (Elektrofilter).....	0,02÷20

Для сравнительного анализа предлагается рассматривать аспирационные системы только сухого способа очистки газа от пыли как наиболее эффективные.

Как видно из рис. 3, тканевые фильтры сухого способа очистки обеспечивают фильтрацию частиц пыли размером до 0,01 мкм, а водяные скруббера в меньшей степени – до 0,06 мкм. Опыт применения электрофильтров с торфом отрицателен.

Более того, поводом для отказа от использования воды в технологии производства торфяных брикетов является стремление всего человечества к экономии воды, в том числе и нашей Республики Беларусь. Так, например, в г. Минске лимит на воду установлен в размере 142 л/сут на каждого прописанного человека и субсидируется государством согласно Постановлению Совета Министров Республики от 12.06.2014 г. № 571 п. 36.1. За потребление сверх нормы необходимо платить по тарифам, установленным Минским исполнительным комитетом, обеспечивающим полное возмещение экономически обоснованных затрат на их оказание. Предельно допустимые тарифы, обеспечивающие полное возмещение экономически обоснованных затрат на оказание жилищно-коммунальных услуг, зафиксированы в Указе Президента Республики Беларусь от 23.03.2016 г. № 107.

В торфяной промышленности при добыче фрезерного торфа и производстве топливных брикетов на его основе выбросами являются твердые частицы в виде пыли. В отличие от некоторых пылящих производств торфяное производство в силу сложившихся конкретных технологических и исторических условий способно полностью использовать эти выбросы для изготовления торфяных брикетов. Причем пыль является наиболее качественным сырьем для этих целей. Однако до настоящего времени на многих торфопредприятиях используются аппараты газоочистки низкой степени улавливания этой пыли для дальнейшей переработки, каковыми являются циклоны. Как известно, они обеспечивают осаждение пыли до 50 %, остальная пыль улавливается мокрыми скрубберами за счет увеличения частиц каплями воды практически на порядок, что обеспечивает их осаждение за счет инерционных сил. После мокрых циклонов ценные частицы сырья смываются в канализацию и попадают на поля фильтрации. Экологическая задача в целом решается в соответствие с техническими нормативными правовыми актами, а вот экономические потери являются существенными.

До 2012 г. в торфяной промышленности не применялись сухие тканевые фильтры по причине повышенной вероятности взрыва торфяной пыли при определенных условиях. Начиная с 2012 г. группой специалистов РУП «Белниитоппроект» Министерства энергетики (с апреля 2015 г. ГП НИИ «Белгипротопгаз»), кафедры «Горные машины» факультета горного дела и инженерной экологии Белорусского национального технического университета, ОАО «ТБЗ «Усяж» и промышленниками торфяной отрасли ведутся работы по внедрению современных систем аспирации с целью улучшения экологических и экономических аспектов. По результатам изучения европейского опыта на выставке «HANNOVER MESSE 2012», а также фирмы «Liucija» в мае 2012 г. было принято окончательное решение и в ОАО «ТБЗ «Усяж» реализован проект установки рукавных фильтров датской компании «Simatek» на обеспыливании штемпелей и зевов брикетных прессов. Значительным отличием этих модульных фильтров от фильтров других производителей является встроенный

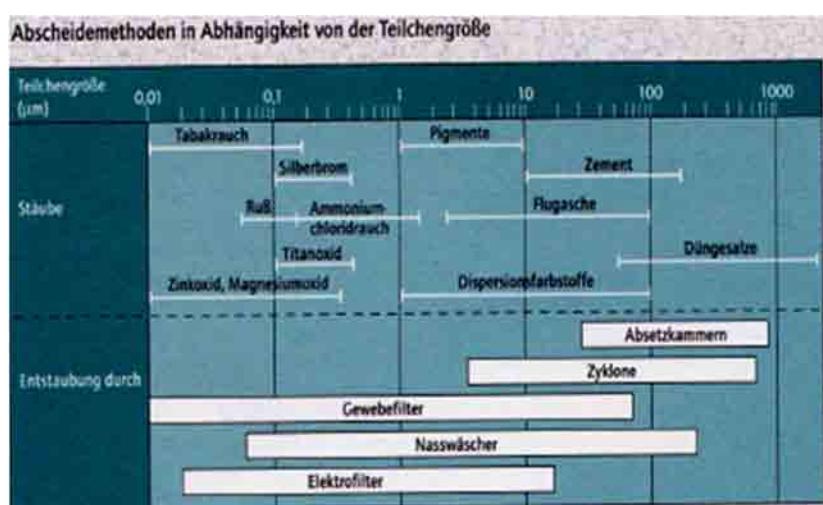


Рис. 3. Степень очистки различных систем аспирации

Fig. 3. The degree of cleaning of various aspiration systems

динамический предварительный очиститель, у некоторых моделей – радиальное входное отверстие с интегрированным диффузором, защищающим рукава фильтра от стирания. Фильтр оснащен эффективной системой импульсов автоматической очистки фильтровальных рукавов и предназначен для непрерывной эксплуатации с контролем давления. Он также оснащен взрывоподавляющим устройством в соответствии с европейским стандартом EN 14491 (рис. 4).

Использование до настоящего времени этих рукавных фильтров в ОАО «ТБЗ «Усяж» для аспирации и направления уловленной пыли на производство брикетов позволяет предполагать их применение и в других необходимых случаях.

Поэтому сухую утилизацию торфяной пыли предлагается рассматривать в комплексе по всей технологической цепочке производства торфяных брикетов:

- 1) на уборке фрезерного торфа пневмоуборочным комбайном;
- 2) при выгрузке из транспорта в бункер сырья;
- 3) при транспортировке ленточными конвейерами;
- 4) после сушки торфа;
- 5) при подаче высушенного торфа скребковыми и винтовыми конвейерами;
- 6) при прессовании брикетов (обеспыливание штемпелей и зевов прессов).

Так как пневмоуборочный комбайн убирает наиболее сухие частицы торфа, то и пыление после аспирации только циклонами не выдерживает никакой критики (рис. 5).

Так, было установлено, что при влажности торфа 25–30 % степень очистки воздуха в комбинированном пылеуловителе по сравнению с установленным циклоном комбайна КПФ-6,4 на 10–15 % больше, что значительно увеличивает цикловой сбор.

Упрощенный подбор рукавных фильтров для наиболее производительного пневмоуборочного комбайна можно произвести по известному расходу воздуха через сопла комбайна (около 24 000 м³/ч) [6].

На основании рекомендуемой производителем удельной нагрузки для торфяной пыли (2,5–3,0 м³/м²/мин) определяется площадь фильтрующей поверхности (рис. 6) и, соответственно марка фильтра JM 90/-35. Максимальная масса этого фильтра значительно ниже – 2200 кг [12, 13], чем двух циклонов комбайна КПФ – 6,4, а степень очистки достигает 98–99 %. Снижение массы машины существенно увеличивает проходимость комбайна и снижает его эксплуатационную мощность. Из-за низкой влажности фрезерного торфа транспортные расходы сокращаются на 35,4 %, а сэкономленный торф для искусственной сушки увеличивает выход товарной продукции на 22,0 % [8].

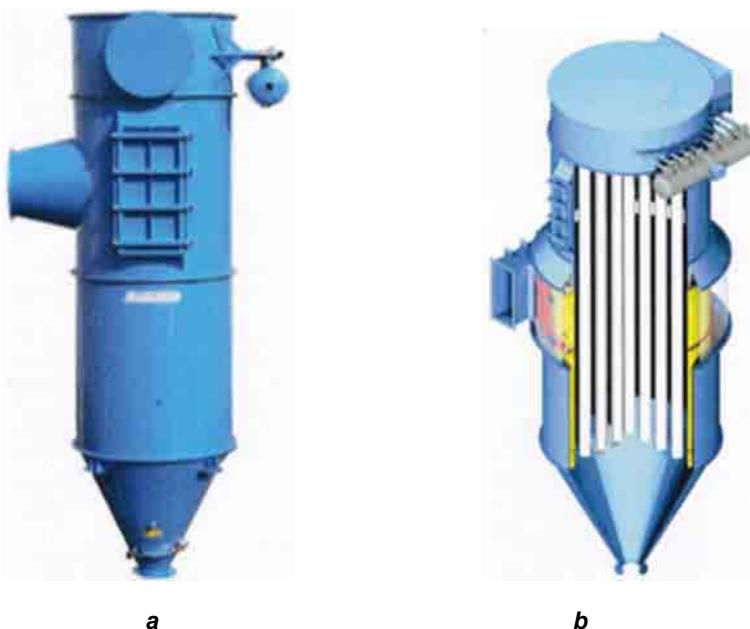


Рис. 4. Общий вид рукавного фильтра SimPact 4T-R:
а – с радиальным входным отверстием; б – со встроенным динамическим очистителем

Fig. 4. General view of bag filter SimPact 4T-R:
a – with a radial entrance opening; b – with an integrated dynamic air purifier

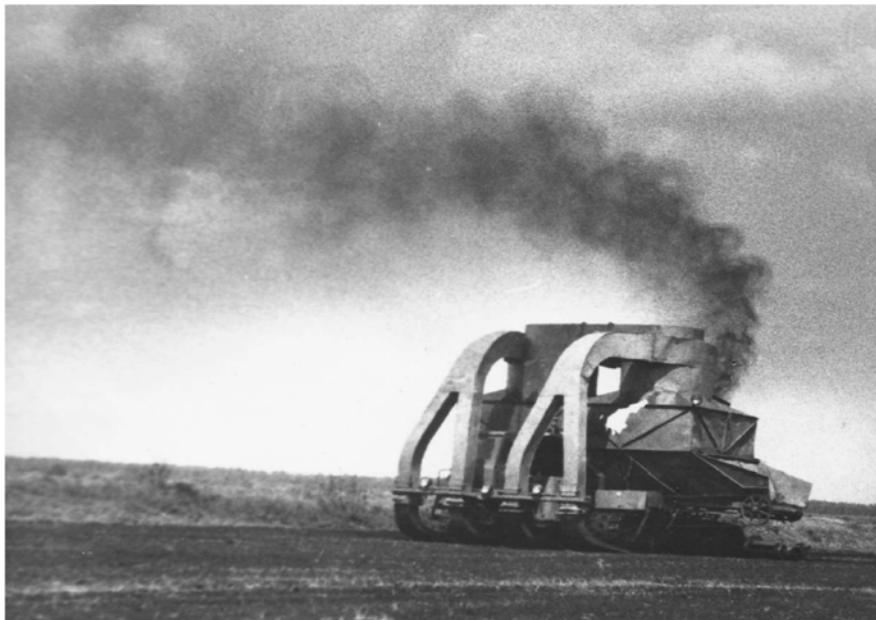


Рис. 5. Выбросы торфяной пыли после осаждения циклонами при работе КПФ-6,4

Fig. 5. Emissions of peat dust after cyclone deposition during operation of CPF-6,4

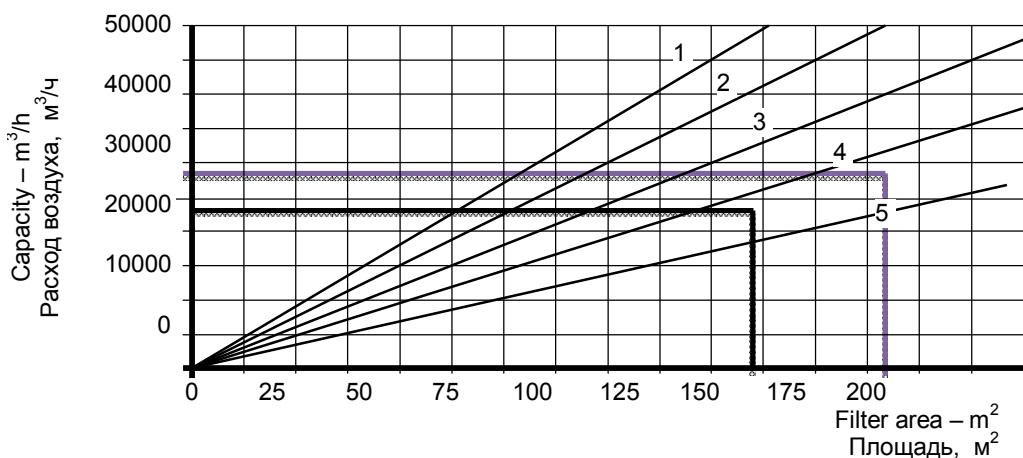


Рис. 6. Подбор площади фильтрующей поверхности.
Соотношение воздух/ткань (A/C): 1 – A/C = 6,0; 2 – A/C = 5,0; 3 – A/C = 4,0; 4 – A/C = 3,0; 5 – A/C = 2,0

Fig. 6. Selecting the area of the filter surface.
Air/Cloth-Ratio (A/C): 1 – A/C = 6,0; 2 – A/C = 5,0; 3 – A/C = 4,0; 4 – A/C = 3,0; 5 – A/C = 2,0

При выгрузке из транспорта (автотранспорт, железнодорожный транспорт) в бункер сырья предлагается дополнительная установка успокоителей с вытяжкой и применением рукавных фильтров (рис. 7).

На всех торфобрикетных заводах применяются ленточные транспортеры, которые при скорости транспортирования материала $1,25 \div 1,7$ м/с, вызывают пыление в рабочей зоне и загрязняют воздух в рабочей зоне и элементы здания. Для улучшения ситуации предлагается применение систем защиты типа «Liftube» (рис. 8).

Системы аспирации пыли после сушилки типа «Цемаг» имеют высокое энергопотребление и требуют обязательного использования воды для работы скрубберов.

Вместо существующих громоздких систем аспирации паровых трубчатых сушилок, состоящих из двух ступеней, предлагается устанавливать один компактный рукавный фильтр SimPact 4T-R с периодической пульсирующей регенерацией рукавов.



Рис. 7. Схема пылеподавления при выгрузке в бункер сырья

Fig. 7. Scheme of dust suppression when unloading into the raw material bin



Рис. 8. Установка защиты от пыления на ленточный транспортер

Fig. 8. Installation of dust protection on the conveyor belt

Подбор марки фильтра основывается на расходе воздуха на 1 кг испаренной влаги, который составляет в среднем $28\ 000\ м^3/\text{час}$ [14]. По данным, приведенным на рис. 6, упрощенно определяется общая площадь фильтрующей поверхности [12], которая при удельной нагрузке для торфяной пыли $A/C = 2,5 \div 3,0\ м^3/\text{м}^2/\text{мин}$ ориентировочно составит $160 \div 180\ м^2$ (табл. 3), соответственно марка промышленного фильтра – JM 90/-45, общая высота корпуса – 6528 мм, диаметр – 2800 мм [12, 13]. Даные габариты позволяют его установку на технологической площадке сушильного отделения брикетного завода, а рядом вентилятор 9 и бойлер 10, что минимизирует потери мощности на изолированных воздуховодах 6 и 7 (рис. 9).

Таблица 3. Выбор марки рукавного фильтра

Table 3. Selection of the brand of bag filter

Марка фильтра	Длина рукава, дм							
	15	20	25	30	35	40	45	50
Площадь фильтрующей поверхности, м ²								
JM 7/-	4,6	6,2	7,7	–	–	–	–	–
JM 10/-	6,6	8,8	11,0	13,2	15,4	–	–	–
JM 14/-	9,2	12,3	15,4	18,5	21,7	–	–	–
JM 21/-	13,9	18,5	23,1	27,7	32,3	–	–	–
JM 3/-	21,1	28,1	35,2	42,2	49,3	–	–	–
JM 41/-	27,0	36,1	45,1	54,1	63,1	72,1	81,1	90,2
JM 52/-	34,3	45,7	57,2	68,86	80,0	91,5	102,9	114,4
JM 70/-	46,2	61,6	77,0	92,4	107,8	123,2	138,5	153,9
JM 90/-	59,4	79,2	99,0	118,8	138,5	158,3	178,1	197,9

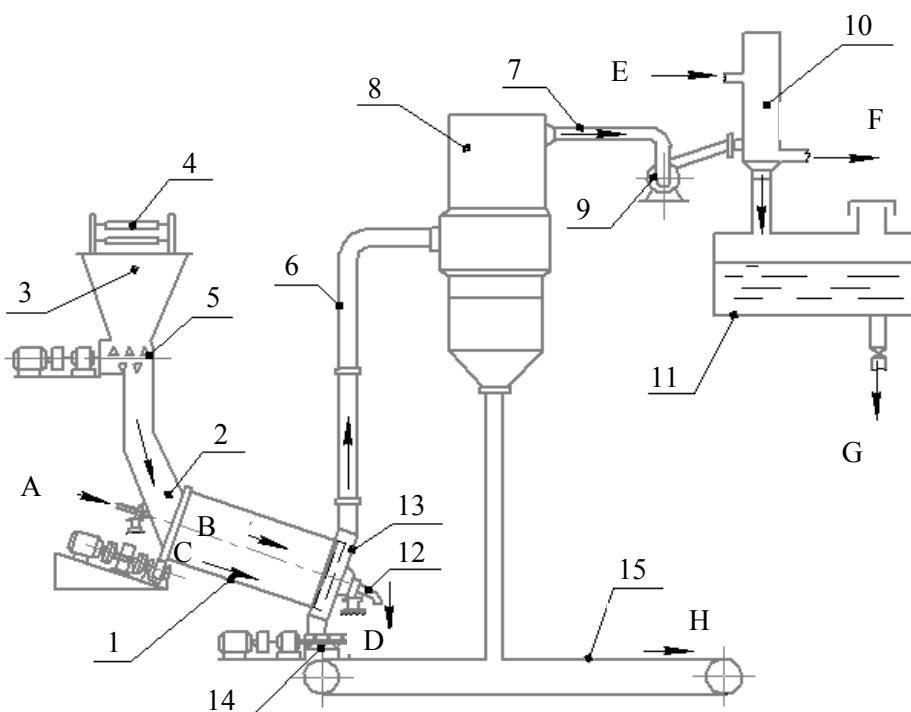


Рис. 9. Схема аспирации паровой трубчатой сушилки:

1 – барабанная сушилка; 2 – загрузочное полочное устройство; 3 – бункер; 4 – ленточный транспортер; 5, 14 – шнековые питатели; 6, 7 – изолированные воздуховоды; 8 – рукавный фильтр; 9 – вентилятор; 10 – бойлер; 11 – накопительная емкость; 12 – конденсатосборник; 13 – задний кожух; 14, 15 – система конвейеров; А – пар; В – воздух; С – торф; Д – конденсат; Е – холодная вода; F – горячая вода; G – вода для технических нужд; H – торф для брикетирования

Fig. 9. Aspiration scheme for a steam tube dryer:

1 – cylinder dryer; 2 – loading shelf device; 3 – raw material bunker; 4 – belt conveyor; 5 – auger feeders; 6, 7 – air ducts; 8 – duct filter; 9 – axial fan; 10 – boiler; 11 – storage capacity; 12 – condensate collector; 13 – accumulator of dried peat; 14, 15 – the conveyor system; A – steam; B – air; C – peat; D – condensate; E – cold water; F – hot water; G – water for technical needs; H – peat for briquetting

При сушке торфа паровой трубчатой сушильной установкой, состоящей из барабанной сушилки 1 с пароподводом, конденсатосборника 12, заднего кожуха 13, загрузочного полочного устройства 2, ленточного транспортера 4, бункера 3 и шнековых питателей 5 и 14, происходит значительная потеря вторичных энергоресурсов, выбрасываемых в атмосферу без утилизации (существующая схема [6]).

Благодаря высокотехничным разработкам европейских производителей появляется возможность разделения пыли, тепла и влаги по предлагаемой схеме (см. рис. 9). Сушильным агентом является воздух, забираемый в трубы с торфом из помещения вентилятором 9, установленным перед бойлером 10, имеющий на выходе из сушилки температуру 81÷100 °С [14]. Далее этот запыленный воздух повышенной влажности по изолированному воздуховоду 6, исключающему образование точки росы, поступает в рукавный фильтр 8, где осаждается практически весь уносимый из трубок сушилки торф. Очищенный горячий сильно увлажненный воздух из рукавного фильтра по изолированному воздуховоду 7 осевым вентилятором 9 нагнетается в бойлер 10, где производится нагрев воды, циркулирующей в трубках бойлера, снаружи трубок. При этом пар от контакта с трубками холодной воды конденсируется и направляется в накопительную емкость 11, расположенную под бойлером, которая сообщается с атмосферным воздухом выхлопной трубой для выброса очищенного воздуха. Нагретая вода из бойлера поступает в систему отопления и горячего водоснабжения промышленной зоны и рабочего поселка. Вода из накопительной емкости используется для технических нужд [13].

Одним из главных условий работоспособности фильтровальной установки SimPact 4T-R JM-90/45 на первой стадии при высокой влажности является поддержание рабочей температуры в фильтре выше точки росы, для чего необходима термоизоляция воздуховодов и самого фильтра, а на второй стадии наоборот – резкое снижение рабочей температуры воздушного потока от контакта с тру-

бами бойлера, наполненных водой с температурой 9–12 °С, что позволяет практически всему пару воздушной смеси конденсироваться в запасы воды.

Наряду с этим изучены свойства материала, определены минимальные частицы торфяной пыли с помощью сканирующего микроскопа, размер которых составил 27 мкм (рис. 10).

Дополнительно в лабораторных условиях (рис. 11) проведены испытания воздействия энергии ультразвука на частицы пыли торфа. В результате эксперимента выявлены следующие свойства ультразвука: частицы торфяной пыли более мелкой фракции объединяются в более крупные, генерируется стоячая волна, уменьшается трение о колеблющуюся поверхность, что дает основания воздействовать на воздуховоды с пылевоздушной смесью ультразвуком.

Ввиду повышенной экономической составляющей вторичных энергоресурсов и в целях минимизации налипания микрочастиц торфа на теплообменнике, ухудшающем теплообмен, предлагается дополнительно воздействовать на пылевоздушный поток ультразвуковым излучением частотой не менее 19 кГц.

Не менее важным является и модернизация системы обеспыливания скребковых конвейеров. При подаче высушенного торфа скребковыми (цепными) конвейерами до настоящего времени используется металлоемкая двухступенчатая система аспирации с водяными скрубберами, на привод всасывающего вентилятора которого установлен электродвигатель мощностью 13 кВт. Взамен этому предлагается установка точечного сухого рукавного фильтра с приводом всасывающего вентилятора от электродвигателя мощностью 2,2 кВт (рис. 12) сверху на короб конвейера, что исключает устройство металлоемких конструкций.

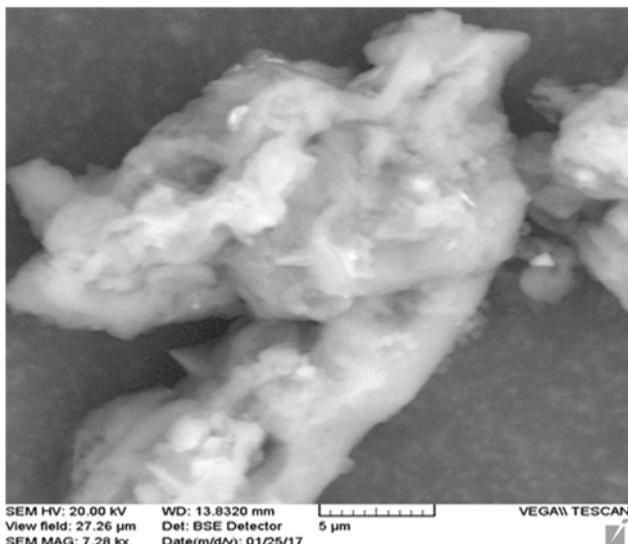


Рис. 10. Твердые частицы торфяной пыли. ×7280

Fig. 10. Solid particles of peat dust (an increase in 7280 times)

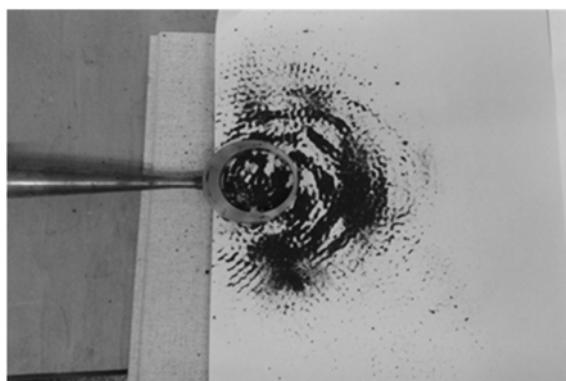


Рис. 11. Воздействие ультразвука на торфяную пыль

Fig. 11. The effect of ultrasound on peat dust

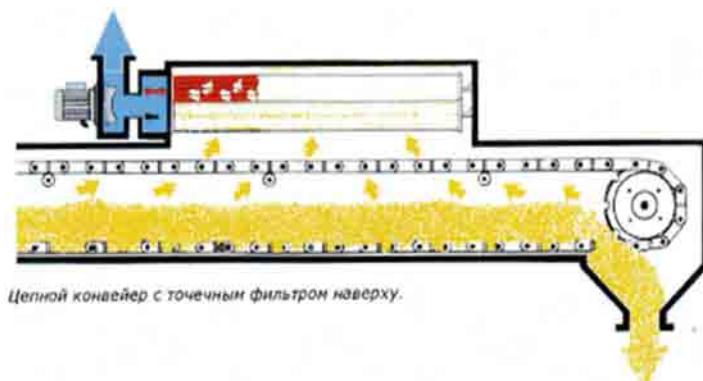


Рис. 12. Точечный рукавный фильтр

Fig. 12. Pointed baghouse filter

Незначительное разряжение внутри кожуха практически исключает пылеобразование через щели конструкции конвейера, а пыль, накапливаемая на поверхности горизонтальных рукавов, регенерируется, возвращаясь непосредственно на конвейер [12]. Этую же технологию возможно применить и на систему защиты типа «Liftube» ленточного транспортера.

Выводы. Комплексный подход к развитию технологий торфяной промышленности с учетом наработок современных европейских производителей позволит значительно улучшить экологические и экономические аспекты в торфяной промышленности, а также конкурировать на рынке твердых видов топлива. Так, например, применение только после паровой сушилки сухой системы аспирации позволит сэкономить 19 440 т воды/год и дополнительно утилизировать около 31 000 т воды/год, испаряемой из торфа при его сушке одной сушилкой. Семье из четырех человек хватит для бытового потребления этого природного ресурса на 243 года, а с учетом эксплуатации в торфяной промышленности двадцати таких сушилок можно в сумме сэкономить около 1 млн т воды, или 100 среднестатистических семей в течение 50 лет будут использовать сэкономленную воду.

Список использованных источников

1. Физика и химия торфа / И. И. Лиштван [и др.]. – М. : Недра, 1989. – 304 с.
2. Торфяная промышленность СССР. – Л. : Недра, 1971. – 136 с.
3. Бучер, Р. So wird die Wende zum Erfolg / Р. Бучер, Ф. Аустен // Bild der Wissenschaft : немецкий науч.-популяр. журнал. – № 5. – 2014. – С. 78–88.
4. Сидорович, В. Электроэнергетика Германии: основные итоги 2016 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.e-institut.ru/single-post/2017/Сидорович-01/15/>. – Дата доступа: 08.12.2017.
5. О сжигании деревянных шпал : письмо Мин-ва природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 27.02.2007 г. №12-17/22-П [Электронный ресурс] // Законодательство – Библиотека – Справочная информация. – 2007. – Режим доступа: www.iso14000.be/library/law/air. – Дата доступа: 19.03.2015.
6. Справочник по торфу / И. Ф. Ларгин [и др.]. – М. : Недра, 1982. – 760 с.
7. Кислов, Н. В. Пневматический транспорт торфяного производства / Н. В. Кислов. – Минск, 1985. – 80 с.
8. Березовский, Н. И. Инновационные энерго- и ресурсосберегающие технологии производства брикетов из торфа / Н. И. Березовский, В. В. Борисейко // Горная механика и машиностроение. – 2014. – №1. – С. 48–55.
9. Материалы итогового совещания «Дажынки 2015» управления торфяной промышленности ГПО «Белтопгаз» Министерства энергетики. – 2015.
10. Комплексное обеспыливание / С. Б. Романченко [и др.]. – М. : Изд-во Горное дело ООО «Киммерийский центр», 2016. – 288 с.
11. Wie funktioniert das? Technik / red. Leitung Hildegard Hogen. Autoren Hans – Jürgen Altheide. – Hamburg, 2003. – 336 с.
12. Высокопроизводительный очиститель воздуха SimPact 4T-R [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.simatek.com/00002/>. – Дата доступа: 16.03.2017.
13. Березовский, Н. И. Энергосберегающие аспирационные системы паротрубчатых сушилок для производства топливных брикетов / Н. И. Березовский, В. В. Борисейко // Горная механика и машиностроение. – 2017. – № 1. – С. 31–36.
14. Наумович, В. М. Сушка торфа и сушильные установки брикетных заводов / В. М. Наумович. – М. : Недра, 1971. – 279 с.

References

1. Lishtvan I. I., Bazin E. T., Gamayunov N. I., Terent'ev A. A. *Fizika i himiya torfa* [Physics and chemistry of peat]. Moscow, 1989, 304 p.
2. *Torfyanaya promyshlennost' SSSR* [Peat industry of the USSR]. Leningrad, 1971, 136 p.
3. Bucher R., Austen F. So wird die Wende zum Erfolg. *Bild der Wissenschaft: Nemeckij nauchno-populyarnyj zhurnal* [German Popular Scientific Journal], no. 5, 2014, pp. 78–88.
4. Sidorovich V. *Ehlektroehnergetika Germanii: osnovnye itogi 2016* [Power engineering in Germany: the main results of 2016]. Available at: <http://www.e-institut.ru/single-post/2017/Sidorovich-01/15> (Accessed 8 December 2017).
5. *Pis'mo Ministerstva prirodnih resursov i ohrany okrughayushchej sredy Respubliki Belarus' «O szhiganii derevyanih shpal»* [Letter of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus №. 12-17 / 22-P "On burning wooden sleepers" dated 27.02.2007 Legislation – Library – Reference information]. 2007. Available at: www.iso14000.be/library/law/air (Accessed 19 March 2015).
6. Largin I. F., Kortshunov S. S., Malkov L. M. *Spravochnik po torfu* [Reference book on peat]. Moscow, 1982, 760 p.
7. Kislov N. V. *Pnevmaticheskij transport torfyanogo proizvodstva* [Pneumatic transport of peat production]. Minsk, 1985, 80 p.
8. Berezovsky N. I., Boriseyko V. V. *Innovacionnye ehnergo- i resursosberegayushchie tekhnologii proizvodstva briketov iz torfa* [Innovative energy and resource saving technologies for the production of briquettes from peat]. *Mining mechanics and machine building*, 2014, no. 1, pp. 48–55.
9. *Materialy itogovogo soveshchaniya «Dazhynki 2015» upravleniya torfyanoy promyshlennosti GPO «Beltopgaz» Ministerstva ehnergetiki* [Materials of the final meeting "Dazhynki 2015" of the peat industry management of the State Enterprise "Beltopgaz" of the Ministry of Energy]. 2015.
10. Timchenko A. N., Nesterenko V. N., Pozdnyakov G. A., Rudenko Y. F., Artemev V. B., Kopylov K. N., Romanchenko S. B. *Kompleksnoe obespylivanie* [Complex dedusting]. Moscow, Pub. Mining. LLC «Cimmerian Center», 2016, 288 p.
11. *Wie funktioniert das?* [How does this work?], Technik, red. Leitung Hildegard Hogen. Autoren Hans-Jürgen Altheide. Hamburg, 2003, 336 p.
12. *Vysokoproizvoditel'nyj ochistiteль vozduha SimPact 4T-R* [High-performance air purifier SimPact 4T-R]. Available at: <http://www.simatek.com/00002/> (Accessed 16 March 2017).
13. Berezovsky N. I., Boriseyko V. V. *Ehnergosberegayushchie aspiracionnye sistemy parotrubchatyh sushilok dlya proizvodstva toplivnyh briketov* [Energy-saving aspiration systems of steam-rotary dryers for the production of fuel briquettes]. *Mining mechanics and machine building*, 2017, no. 1, pp. 31–36.
14. Naumovich V. M. *Sushka torfa i sushil'nye ustanovki briketyh zavodov* [Drying of peat and drying installations of briquetting plants]. Moscow, 1971, 279 p.
15. Greene H., Lein V. *Aehrozoli – pyli, dymy i tumany* [Aerosols – dust, fumes and fogs]. Moscow, 1972, 426 p.

Информация об авторах

Березовский Николай Иванович – д-р техн. наук, профессор, Белорусский национальный технический университет (пр-кт Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь). E-mail: berezovsky@bntu.by

Борисейко Владимир Васильевич – старший преподаватель, аспирант, Белорусский национальный технический университет (пр-кт Независимости, 65, 220013, г. Минск, Беларусь). E-mail: boriseyko.v@bntu.by

Information about the authors

Nikolai I. Berezovsky – D. Sc. (Technical), Professor, Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Avenue, 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: berezovsky@bntu.by

Vladimir V. Boriseyko – Senior Lecturer, Graduate Student, Belarusian National Technical University (65, Nezavisimosti Avenue, 220013, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: boriseyko.v@bntu.by

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД РЫБОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ СП «САНТА БРЕМОР» ООО В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ

А. Н. Лицкевич¹, Е. Н. Басалай²

¹Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларусь, Брест, Беларусь;

²Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Проведены исследования физических, химических и микробиологических свойств осадка сточных вод рыбоперерабатывающего предприятия СП «Санта Бремор» ООО, которыми подтверждена возможность использования осадков сточных вод данного предприятия в качестве сырья для производства органических удобрений. Разработан экспериментальный состав органического удобрения «Экофитоганик» для пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур. Органическое удобрение получено путем смешения осадков производственных сточных вод локальных очистных сооружений СП «Санта Бремор» ООО с отходом сахарного производства (фильтрационный осадок) с последующим компостированием. Удобрение предназначено для применения в сельскохозяйственном производстве и на приусадебных участках в качестве органического удобрения для пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур, таких как сахарная свекла, кукуруза, ячмень. В рамках выполнения работ утверждены технические условия (ТУ BY 200656098.071-2016) на производство удобрения органического «Экофитоганик» и получен сертификат о государственной регистрации средств защиты растений (удобрения) «Экофитоганик» для пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: осадок производственных сточных вод; органическое удобрение; исследование; тяжелые металлы; урожайность.

Для цитирования. Лицкевич А. Н., Басалай Е. Н. Использование осадков сточных вод рыбоперерабатывающего предприятия СП «Санта Бремор» ООО в качестве удобрения // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 238–245.

THE USE OF SEWAGE SLUDGE OF FISH PROCESSING ENTERPRISES JV "SANTA BREMOR" LLC AS FERTILIZERS

A. N. Litskevich¹, E. N. Basalai²

¹The Polesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Brest, Belarus;

²Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. Conducted the investigations of physical, chemical and microbiological properties of sewage sludge of fish processing facilities of JV "Santa Bremor" LLC, which confirmed the possibility of using sewage sludge of the enterprise as raw material for production of organic fertilizers. The experimental composition of the organic fertilizer "Ecofitorganik" developed for tilled and grain crops. Organic fertilizer obtained by mixing sewage sludge of local treatment facilities of JV "Santa Bremor" LLC with the waste of sugar production (filtration sludge) with subsequent composting. The fertilizer is intended for use in agricultural production and in home gardens as organic fertilizer for tilled crops and grain crops such as sugar beets, corn, barley. In the framework of work execution of approved the technical conditions (TY BY 200656098.071-2016) for production of the organic fertilizer "Ecofitorganik" and obtained the certificate of state registration of plant protection products (fertilizers) "Ecofitorganik" for tilled and cereal crops.

Key words: industrial wastewater sludge; organic fertilizer; research; heavy metals; productivity.

For citation. Litskevich A. N., Basalai E. N. The use of sewage sludge of fish processing enterprises JV "Santa Bremor" LLC as fertilizers. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 238–245.

Введение. Проблема образования и накопления осадков производственных сточных вод является очень актуальной для предприятий Республики Беларусь, поскольку количество образующихся и накопленных осадков ежегодно увеличивается, что ведет к обострению проблем, связанных с их экономически эффективной и экологически безопасной утилизацией. Данные проблемы актуальны и для Брестской области, на территории которой, согласно статистическим данным [13], используется около 80 % производственных отходов (см. рисунок).



Образование и использование производственных отходов на территории Брестской области, 2010–2015 гг.

Formation and use of industrial waste on the territory of Brest region, 2010–2015

Используя определенные физико-химические свойства отходов, можно рассматривать их как вторичный материальный ресурс. Возвращение отходов в материальный круговорот приобретает важное экологическое и экономическое значение [1, 16]. Количество осадков производственных сточных вод (ОПСВ), которые являются разновидностью отходов, с каждым годом увеличивается. Вместе с этим актуализируются проблемы их рациональной, эффективной и экологически безопасной утилизации [5, 9]. Наиболее экономически выгодным методом утилизации осадков сточных вод является использование его в качестве удобрений и почвоулучшающих добавок.

Использование дополнительных источников органических веществ в настоящее время является необходимостью, так как современное производство традиционных органических удобрений покрывает лишь 70 % потребности пахотных земель в органических веществах. Поэтому исследования свойств ОПСВ имеют большое значение при выборе способов их использования в качестве недорогого источника органических и минеральных компонентов удобрения [4, 5, 9, 11, 12, 14, 15]. Однако в Республике Беларусь однозначно не решен вопрос о критериях и параметрах использования доз различных типов ОСВ и компостов, приготовленных на их основе. Изучение состояния почвенной микрофлоры и показателей интенсивности биологических процессов позволит оценить уровень плодородия почв, способность самовосстановления агрозоосистем и реабилитации земель после разового и систематического внесения высоких доз ОПСВ. Для соблюдения экологических условий использования осадков в качестве удобрений нормативно-правовая база [10], регламентирующая особенности технологий, связанных с получением безопасной растениеводческой продукции и предотвращения возможного загрязнения почв, постоянно совершенствуется на основании результатов комплексных научных агроэкологических и микробиологических исследований.

В настоящее время одним из ведущих предприятий города Бреста является СП «Санта Бремор» ООО, на котором значительное внимание уделяется решению экологических вопросов и безопасности производства для окружающей среды. Ежедневно на локальных очистных сооружениях предприятия образуется до 5–6 т обезвоженного ОПСВ и вопрос его экологически безопасной утилизации стоит очень остро. С 2012 г. в Полесском аграрно-экологическом институте НАН Беларуси проводятся исследования качественных и количественных характеристик обезвоженного ОПСВ локальных очистных сооружений данного предприятия с целью разработки способов его применения в качестве удобрения.

Цель работы – разработать способ использования ОПСВ СП «Санта Бремор» ООО в качестве удобрения органического для пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы исследования. Изучение свойств ОПСВ СП «Санта Бремор» ООО для оценки возможности их применения в качестве почвоулучшающих добавок проводилось в течение пяти лет (2012–2016 гг.). Объектом исследования являлся обезвоженный ОПСВ очистных сооружений СП «Санта Бремор» ООО, взятый непосредственно с обезвоживающего устройства. В ходе выполнения работы было исследовано более 60 образцов ОПСВ.

Для оценки качественных и количественных характеристик в исследуемых ОПСВ определяли следующие показатели: зольность, влажность и содержание органического вещества по ГОСТ 26213-91 п. 1 и ГОСТ 26213-91 п. 2, pH солевой вытяжки по ГОСТ 26483-85, содержание нитратов по ГОСТ

26488-85, содержание обменного аммония по ГОСТ 26489-85, содержание подвижных соединений фосфора и калия по ГОСТ 26207-91, содержание общего азота по ГОСТ 26107-84, п. 4.2.

По внешнему виду обезвоженный осадок СП «Санта Бремор» ООО представляет собой субстанцию светло-серого цвета с резким специфическим запахом, который является следствием наличия в нестабилизированных осадках высокой доли легко окисляемого органического вещества. В ходе проведения лабораторных испытаний образцов ОПСВ в аккредитованной согласно СТБ ИСО/МЭК 17025 лаборатории гидроэкологии и экотехнологий Полесского аграрно-экологического института НАН Беларусь был выявлен основной состав сырого осадка очистных сооружений СП «Санта Бремор» ООО: среднее содержание жиров – 12,20–18,00 %, протеина – 35,18–38,95 и клетчатки – 1,10–2,55 %. Высокое содержание белков и жиров в осадке является источником азота, жирных кислот и углеводородов для почвенных организмов. Сырой осадок очистных сооружений СП «Санта Бремор» ООО характеризуется высокой влажностью, которая колеблется в пределах от 70 до 85 %. Данное колебание зависит от технологических параметров обезвоживания. Содержание сухого вещества колеблется в пределах 302–380 г/дм³, органического вещества – в пределах 64–65 %. Для использования в сельском хозяйстве в качестве удобрений пригодны осадки, которые содержат более 20 % органического вещества при естественной влажности. Лабораторные исследования показали, что содержание органического вещества в исследованных образцах более чем в 3,0 раза превышает данную величину, что позволяет применять данные ОПСВ в качестве удобрения.

Исследования химического состава ОПСВ показали, что реакция осадка имеет практически нейтральное значение (6,6–6,9 ед. pH), содержание общего азота колеблется от 1,50 до 4,32 %, подвижного фосфора – от 2012 до 8966 мг/кг. Таким образом, ОПСВ СП «Санта Бремор» ООО могут быть использованы как вторичное сырье, однако ограничивающим фактором широкого использования осадков может быть наличие в их составе тяжелых металлов. Поэтому было проведено определение содержания тяжелых металлов в исследуемых образцах ОПСВ. Известно, что содержание подвижных форм кадмия и железа в почве не нормируется [2]. Концентрация кадмия на абсолютно сухую массу в образцах ОПСВ составила 0,64 мг/кг, железа – 91,40 мг/кг. Содержание тяжелых металлов в ОПСВ не превышает нормативы ПДК для валовых форм в почвах [2] для меди (3,99 мг/кг при ПДК 55 мг/кг), цинка (34,18 мг/кг при ПДК 100 мг/кг), никеля (4,63 мг/кг при ПДК 85 мг/кг), хрома (6,87 мг/кг при ПДК 100 мг/кг), кобальта (4,87 мг/кг при ПДК 20 мг/кг), марганца (77,51 мг/кг при ПДК 1500 мг/кг) и свинца (16,87 мг/кг при ПДК 30 мг/кг). Следовательно, концентрации тяжелых металлов в сухом веществе ОПСВ СП «Санта Бремор» ООО не превышают их предельно-допустимые концентрации: содержание в 1,77 раза и более ниже ПДК, что свидетельствует о возможности применения ОПСВ в качестве удобрения.

Для оценки эффективности применения ОПСВ в качестве удобрения при выращивании сельскохозяйственных культур были проведены полевые опыты. Возделывались следующие сельскохозяйственные культуры: кукуруза сорта Рикординио, сахарная свекла сорта Гримм, яровой ячмень сорта Бровар. Опыты закладывались на экспериментальных площадках Полесского аграрно-экологического института НАН Беларусь в Брестском районе.

В полевом опыте первого года (2013 г.) использовался ОПСВ с содержанием азота 43,25 кг/т. Доза ОПСВ выравнивалась по азоту и вносилась на опытные поля с дерново-подзолистой супесчаной почвой следующим образом: для ячменя дозы внесения ОПСВ составляли 30 кгN/га, 60 кгN/га, 90 кгN/га и контрольные участки; для сахарной свеклы и кукурузы – 40 кгN/га /га, 80 кгN/га /га, 120 кгN/га и контрольные участки. Опыты были заложены в четырехкратной повторности для каждого варианта опыта, площадь опытной делянки – 50 м², варианты в опыте размещались методом рендомизированных повторений.

Агротехнические работы включали в себя зяблевую вспашку на глубину 22 см, весеннюю культуацию для закрытия влаги и заделки удобрений на глубину 10 см, предпосевную обработку почвы. Работы проводились механизированным способом с помощью агрегата АКШ-3,6. Посев ярового ячменя производился механической зерновой сеялкой Amazone D9-609, кукурузы и сахарной свеклы – СКН-6. В практике сельского хозяйства в настоящее время существуют два основных способа внесения удобрений – поверхностное и внутрив почвенное. При поверхностном внесении в почву ОПСВ создаются очень сильные неприятные запахи и теряется большая доля питательных веществ. Для снижения потерь питательных веществ и нормализации запаха выполняли заделку экспериментального удобрения на основе ОПСВ непосредственно после внесения.

Для оценки эффективности применения ОПСВ в качестве удобрения при выращивании *кукурузы сорта Рикординио* применяли следующие варианты опыта: без применения удобрения (контроль), эталон (подстилочный навоз КРС – 26,7 т/га, N₁₂₀P₆₀K₁₂₀) и исследуемое удобрение на основе ОПСВ (5,3 т/га, 6,6 т/га, 8,0 т/га удобрения влажностью 65 %). Учет урожайности и отбор образцов зеленой массы кукурузы проведен 26.08.2013 г. на 24 учетных делянках в фазе молочно-восковой

спелости зерна. В погодных условиях 2013 г. наиболее низкая урожайность кукурузы получена в варианте без внесения удобрений: за счет плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы сформировано 280,05 ц/га зеленой массы (табл. 1). Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{120}P_{60}K_{120}$ обеспечило достоверное увеличение (по сравнению с контролем): в урожайности зеленой массы кукурузы на 118,07 ц/га, в сборе сырого белка – на 799,4 кг/га, в продуктивности – на 33,354 ц к.ед/га.

Среди органических удобрений, внесенных в дозах, выровненных по азоту (N_{120}), хозяйственная эффективность удобрения на основе ОПСВ, внесенного в дозе 6,6 т/га, была выше, чем у подстилочного навоза КРС, внесенного в дозе 26,7 т/га: прибавка в урожайности зеленой массы кукурузы (по сравнению с контролем) составила 85,95 ц/га, в сборе сырого белка – 672,7 кг/га, в продуктивности – 27,147 ц к.ед/га. Увеличение дозы удобрения на основе ОПСВ до 8,0 т/га привело к увеличению урожайности зеленой массы кукурузы до 386,9 ц/га, сбора сырого белка – до 1619,4 кг/га, продуктивности – до 112,201 ц к.ед/га. Прибавка (по сравнению с контролем) от внесения 5,3–8,0 т/га удобрения на основе ОПСВ составила: зеленой массы – 33,63–106,85 ц/га, сбора сырого белка – 344,9–898,4 кг/га, продуктивности – 12,184–36,868 ц к.ед/га.

Для оценки эффективности применения ОПСВ в качестве удобрения при выращивании **сахарной свеклы сорта Гримм** опыты закладывали по следующей схеме: без применения удобрения (контроль), эталон ($N_{90+30}P_{60}K_{120}$), эталон (подстилочный навоз КРС – 20,0 т/га) и исследуемое удобрение на основе ОПСВ (2,6 т/га, 5,2 т/га, 7,8 т/га, влажностью 65%). Учет урожайности и отбор образцов корнеплодов проведен 25.09.2013 г. на 24 учетных делянках. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{90+30}P_{60}K_{120}$ в 2013 г. обеспечило увеличение урожайности корнеплодов сахарной свеклы на 297,4 ц/га (по сравнению с контролем). Наибольшая урожайность корнеплодов сахарной свеклы получена от внесения удобрения на основе ОПСВ в дозе 7,8 т/га – 668,2 ц/га (табл. 2).

Применение возрастающих доз удобрения на основе ОПСВ, 2,6–7,8 т/га наблюдается достоверное увеличение урожайности корнеплодов сахарной свеклы. Среди органических удобрений, внесенных в дозах, выровненных по азоту (N_{120}), хозяйственная эффективность удобрения на основе ОПСВ, внесенного в дозе 7,8 т/га, была выше, чем у подстилочного навоза КРС, внесенного в дозе 20,0 т/га: прибавка в урожайности корнеплодов (по сравнению с контролем) составила 403,7 ц/га. Увеличение дозы удобрения на основе ОПСВ от 2,2 до 7,8 т/га привело к повышению урожайности корнеплодов до 111,7 ц/га. Таким образом, повышение эффективности выращивания сахарной свеклы в течение 2013 г. зависит от дозы внесения органических компонентов на основе осадков сточных вод.

Таблица 1. Влияние удобрения на основе ОПСВ на урожайность зеленой массы кукурузы сорта Рикординио, ц/га (влажность зеленой массы 70–71 %)

Table 1. The effect of fertilizer on the basis of industrial sewage sludge on the yield of green mass of corn Ricordinio, c/ha (humidity of green mass 70–71 %)

№ п/п	Вариант	Урожайность	Прибавка к контролю	Сбор сырого белка, кг/га	Продуктивность, ц к.ед/га
1.	Без удобрений (контроль)	280,05	–	721,0	75,333
2.	$N_{120}P_{60}K_{120}$	398,12	118,07	1520,4	108,687
3.	Подстилочный навоз КРС, 26,7 т/га	335,88	55,83	1265,5	99,420
4.	Удобрение на основе ОПСВ, 5,3 т/га	313,68	33,63	1065,9	87,517
5.	Удобрение на основе ОПСВ, 6,6 т/га	366,00	85,95	1393,7	102,480
6.	Удобрение на основе ОПСВ, 8,0 т/га	386,90	106,85	1619,4	112,201
	HCP _{0,5}	50,665	–	–	5,200

Таблица 2. Влияние удобрения на основе ОПСВ на эффективность выращивания сахарной свеклы, ц/га

Table 2. Influence of fertilizer on the basis of industrial sewage sludge on the efficiency of sugar beet cultivation, c/ha

№ п/п	Вариант	Урожайность	Прибавка к контролю	Выход сахарозы
1.	Без удобрений (контроль)	264,5	–	45,0
2.	$N_{90+30}P_{60}K_{120}$	561,9	297,4	78,0
3.	Подстилочный навоз КРС, 20,0 т/га	518,6	254,1	77,8
4.	Удобрение на основе ОПСВ, 2,6 т/га	556,5	292,0	87,8
5.	Удобрение на основе ОПСВ, 5,2 т/га	660,2	395,7	100,1
6.	Удобрение на основе ОПСВ, 7,8 т/га	668,2	403,7	105,3
	HCP _{0,5}	44,6	–	–

Для оценки эффективности применения ОПСВ в качестве удобрения при выращивании **ярового ячменя сорта Бровар** опыты были заложены по следующей схеме: без применения удобрения (контроль), эталон ($N_{80}P_{60}K_{120}$), эталон (подстилочный навоз КРС – 20,0 т/га, $N_{80}P_{40}K_{80}$) и исследуемое удобрение (2,2 т/га, 5,0 т/га, 7,0 т/га, влажностью 65%). Учет урожайности и отбор образцов зерна ячменя ярового проведен 23.07.2013 г. на 24 учетных делянках. В погодных условиях 2013 г. наиболее низкая урожайность зерна ячменя получена в варианте без внесения удобрений: за счет плодородия дерново-подзолистой супесчаной почвы сформировано 24,021 ц/га зерна (табл. 3).

Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{80}P_{60}K_{120}$ обеспечило достоверное увеличение (по сравнению с контролем) в урожайности зерна ячменя ярового на 16,02 ц/га.

Среди органических удобрений, внесенных в дозах, выровненных по азоту (N_{80}), хозяйственная эффективность удобрения на основе ОПСВ, внесенного в дозе 7,0 т/га, была выше, чем у подстилочного навоза КРС, внесенного в дозе 20,0 т/га: прибавка в урожайности зерна ячменя (по сравнению с контролем) составила 14,15 ц/га. Увеличение дозы удобрения на основе ОПСВ до 7,0 т/га привело к увеличению урожайности зерна ячменя до 38,17 ц/га.

Таким образом, применение удобрения на основе ОПСВ локальных очистных сооружений СП «Санта Бремор» ООО в качестве удобрений в первый год проведения полевых опытов оказало положительное влияние на урожайность пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур (зерна ярового ячменя, зеленой массы кукурузы, корнеплодов сахарной свеклы).

На основе ОПСВ локальных очистных сооружений СП «Санта Бремор» ООО был разработан экспериментальный состав органического удобрения «Экофиторганик» для пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур, которое получено путем смешивания ОПСВ с отходами сахарного производства (фильтрационный осадок по ТУ РБ 37602662.630-99) согласно ТУ BY 200656098.071-2016. При использовании органических отходов сахарного производства должен соблюдаться порядок их применения в соответствии с документами [2, 3]. Принимая во внимание положительное влияние экспериментального состава удобрения на основе ОПСВ на первом году проведения опытов была изготовлена опытная партия объемом 5 т.

Для определения влияния удобрения на основе ОПСВ «Экофиторганик» на урожайность пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур в 2014 г. на территории Брестского района был заложен производственный опыт. В д. Клейники был заложен опыт по определению урожайности зерна ярового ячменя (сорт Атаман) на втором году наблюдений в четырехкратной повторности на дерново-подзолистой супесчаной почве на площади 2 га. В погодных условиях 2014 г. при применении удобрения органического «Эфиторганик» в дозе 7,0 т/га сформировалась высокая урожайность зерна ячменя ярового – 40,02 ц/га зерна по сравнению с эталоном ($N_{80}P_{60}K_{120}$).

Опыт по определению урожайности зеленой массы кукурузы (сорт Рикардинио) на втором году наблюдений был заложен в д. Ковердяки в четырехкратной повторности на дерново-подзолистой супесчаной почве на площади 2 га. Внесение удобрения органического «Экофиторганик» в дозе 8,0 т/га обеспечило получение урожайности в 487,0 ц/га зеленой массы кукурузы по сравнению с эталоном ($N_{120}P_{60}K_{120}$).

Опыт по исследованию урожайности корнеплодов сахарной свеклы (сорт Гримм) на втором году наблюдений был заложен в д. Малые Мотыкалы в четырехкратной повторности на дерново-подзолистой супесчаной почве на площади 2 га. Внесение удобрения органического «Экофиторганик» в дозе 7,8 т/га оказалось положительное влияние на урожайность корнеплодов сахарной свеклы (36,5 ц/га) по сравнению с эталоном ($N_{90+30}P_{60}K_{120}$).

Таблица 3. Влияние удобрения на основе ОПСВ на урожайность зерна ячменя ярового сорта Бровар, ц/га

Table 3. Influence of fertilizer on the basis of industrial sewage sludge on the yield of spring barley grain grade Brovar, c/ha

№ п/п	Вариант	Урожайность	Прибавка к контролю
1.	Без удобрений (контроль)	24,02	–
2.	$N_{80}P_{60}K_{120}$	40,04	16,02
3.	Подстилочный навоз КРС, 26,7 т/га	38,11	14,39
4.	Удобрение на основе ОПСВ, 2,2 т/га	30,03	6,01
5.	Удобрение на основе ОПСВ, 5,0 т/га	32,37	8,35
6.	Удобрение на основе ОПСВ, 7,0 т/га	38,17	14,15
	HCP _{0,5}	2,44	–

Таким образом, применение ОПСВ в качестве удобрения органического «Экофиторганик» в производственном опыте второго года также оказало положительное влияние на урожайность зерна ярового ячменя, зеленой массы кукурузы, корнеплодов сахарной свеклы [4].

Имея обширный опыт работы и практические наработки по использованию ОПСВ локальных очистных сооружений СП «Санта Бремор» ООО [4, 6–8], лабораторией гидроэкологии и экотехнологий был разработан проект технических условий [4] на органическое удобрение «Экофиторганик» для пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур. В ходе разработки технической документации в лабораторно-аналитическом исследовательском центре РУП «Институт почвоведения и агрохимии» были проведены химические испытания образцов органического удобрения «Экофиторганик» для пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур [4] по следующим показателям: влажность и сухой остаток по ГОСТ 26713-85, зольность по ГОСТ 26714-85, содержание органического вещества по ГОСТ 27980-88, кислотности по ГОСТ 27979-88, кальция по ГОСТ 30502-97, магния по ГОСТ 28901-91, меди, свинца, кадмия, никеля, хрома, марганца, железа, кобальта, цинка – в соответствии с Методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства (РФ, ЦИНАО), общего азота по ГОСТ 26715-85, общего фосфора по ГОСТ 26717-85, общего калия по ГОСТ 26718-85.

Результаты анализа показали, что содержание органического вещества в удобрении составляет 71,78 % (при естественной влажности – 28,78 %), MgO – 0,25 (0,10), CaO – 3,25% (1,30 %). Водородный показатель солевой вытяжки (рН) в KCl составляет 7,33 ед. pH. Фактическое содержание меди в образце удобрения «Экофиторганик» составляет в пересчете на сухое вещество 18,30 мг/кг (при естественной влажности – 7,34 мг/кг), марганца – 2,16 (0,87), кадмия – меньше нижнего предела обнаружения метода, свинца – 11,34 (4,55), кобальта – 0,63 (0,25), хрома – 15,79 (6,33), железа – 29536,72 мг/кг (11846,14 мг/кг). Содержание общего азота в исследуемых образцах составило 3,40 % в пересчете на сухое вещество (при естественной влажности – 1,37 %), содержание подвижных соединений фосфора – 2,34 (0,94), содержание подвижных соединений калия – 0,18 % (0,074). Влажность образцов составляет 59,91 %, сухое вещество – 40,09, зольность – 28,22 %.

Проведенные лабораторные испытания образцов удобрения органического удобрения «Экофиторганик» на основе ОПСВ локальных очистных сооружений СП «Санта Бремор» ООО свидетельствуют о возможности применения его в качестве удобрения по содержанию органического вещества – более 70 %, общего азота – более 3, подвижных соединений фосфора – более 2 и подвижных соединений калия – 0,18 %, а также низкое содержание тяжелых металлов (в пересчете на сухое вещество); полевые и производственные опыты свидетельствуют о положительном влиянии удобрения «Экофиторганик» на урожайность пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур (зерна ярового ячменя, зеленой массы кукурузы, корнеплодов сахарной свеклы).

Заключение. Полевые опыты первого года исследований по применению ОПСВ в качестве удобрения при выращивании сельскохозяйственных культур показали, что его применение оказывает положительное влияние на урожайность пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур: наибольшая урожайность корнеплодов сахарной свеклы получена при внесении удобрения на основе ОПСВ в дозе 7,8 т/га – (668,2 ц/га), зерна ячменя – в дозе 7,0 (38,17), урожайности зеленой массы кукурузы – в дозе 8,0 т/га (386,9 ц/га).

Производственные опыты второго года подтвердили эффективность использования полученного путем смешивания ОПСВ с отходами сахарного производства органического удобрения «Экофиторганик» для пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур: при его применении в дозе 7,0 т/га сформировалась высокая урожайность зерна ячменя ярового – 40,02 ц/га; доза 8,0 т/га обеспечила получение урожайности в 487,0 ц/га зеленой массы кукурузы; удобрение в дозе 7,8 т/га оказалось положительное влияние на урожайность корнеплодов сахарной свеклы (36,5 ц/га) по сравнению с эталоном ($N_{90+30}P_{60}K_{120}$). Таким образом, применение максимальной дозы (7–8 т/га) органического удобрения «Экофиторганик» на основе ОПСВ локальных очистных сооружений СП «Санта Бремор» ООО способствует увеличению урожайности пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур [4]. Оно может применяться в сельскохозяйственном производстве и на приусадебных участках в качестве удобрения для пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур, таких как сахарная свекла, кукуруза и ячмень.

В соответствии с требованиями ГОСТ 2.114-95 «Международный Стандарт. Единая система конструкторской документации. Технические условия» разработаны Технические условия ТУ BY 200656098.071-2016, которые прошли Государственную регистрацию технических условий в БелГИСС [4] и получен сертификат о государственной регистрации средств защиты растений (удобрения) «Экофиторганик» для пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур.

Удобрение органическое «Экофиторганик» для пропашных и зерновых сельскохозяйственных культур обладает последействием в течение 2–3 лет, характеризуется низкой дозой внесения, отсутствием семян сорняков, увеличивает урожайность на 20–40 %, содержит все необходимые растениям питательные органические вещества и микроэлементы, облагораживает структуру почвы и повышает ее плодородие на длительный срок. Данное удобрение отличается сыпучестью, хорошими агротехническими свойствами, не пылит.

Список использованных источников

- Гавриленков, А. М. Экологическая безопасность пищевых производств / А. М. Гавриленков, С. С. Зарцина, С. Б. Зуева. – СПб. : Гиорд, 2006. – 272 с.
- Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. – Минск, 2004. – 26 с.
- Инструкция по известкованию кислых почв сельскохозяйственных угодий Республики Беларусь. – Минск, 1997.
- Исследование качественных и количественных характеристик обезвоженного осадка локальных очистных сооружений СП «Санта Бремор» ООО с целью разработки способов их применения в качестве удобрения : отчет о НИР (заключит.) / Нац. акад. наук Беларуси, Полесский аграрно-экологический ин-т ; рук. А. Н. Лицкевич. – Брест, 2016. – 53 с. – № ГР 20132320.
- Комаров, В. И. Техногенное влияние предприятий пищевой промышленности на окружающую среду: проблемы и решения / В. И. Комаров, В. И. Лебедев, Т. А. Мануйлова. – М. : Пищепромиздат, 2002. – 76 с.
- Лицкевич, А. Н. Использование осадка производственных сточных вод для получения удобрений / А. Н. Лицкевич, М. В. Гулькович, О. А. Черничко // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства : материалы Междунар. науч.-практ. конференции, Брест, 24–25 сент. 2015 г. / гл. ред. Н. В. Михальчук. – Брест : Альтернатива, 2015. – С. 75–82.
- Лицкевич, А. Н. Исследование химического состава и свойств осадков производственных сточных вод и разработка способов их использования в качестве органических удобрений / А. Н. Лицкевич, М. В. Гулькович, О. А. Черничко // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства : материалы Междунар. науч.-экол. конф., Брест, 2015. – С. 413–416.
- Лицкевич, А. Н. Использование осадков производственных сточных вод рыбо- и молокоперерабатывающих предприятий в качестве сырья для производства удобрений / А. Н. Лицкевич, М. В. Гулькович, О. А. Черничко // Мелиорация и водное хозяйство: проблемы и пути решения : материалы науч.-практ. конф. (Костяковские чтения). – М. : Изд. ВНИИА, 2016. – Т. II. – С. 199–204.
- Лоренц, В. И. Очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности. – Киев : Будивельник, 1972. – 188 с.
- Об обращении с отходами : Закон Респ. Беларусь, 20 июля 2007 г., № 271-З в ред. Закона Респ. Беларусь от 15 июля 2015 г. // Консультант Плюс: Беларусь [Электронный ресурс] / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2002. – Режим доступа: https://remondis-belarus.by/documents/law_on_waste_manage.pdf. – Дата доступа: 11.01.2017.
- Туренков, Н. И. Технология применения осадка городских сточных вод и компостов из твердых бытовых отходов в качестве органических удобрений в БССР (рекомендации) / Н. И. Туренков, [и др.]. – Минск, 1988. – 28 с.
- Хаммер, М. Технология очистки сточных и природных вод : пер. с англ. – М. : Стройиздат, 1979. – 400 с.
- Экологический бюллетень 2010–2015 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://minpriroda.gov.by/ru/>. – Дата доступа: 01.02.2017.
- Яковлев, С. В. Очистка производственных сточных вод: учеб. пособие / С. В. Яковлев, Я. А. Карелин, Ю. В. Воронов. – М. : Стройиздат, 1979. – 320 с.
- Яковлев, С. В. Канализация / С. В. Яковлев, Ю. М. Ласков. – М. : Стройиздат, 1987. – 320 с.
- Яромский, В. Н. Очистка сточных вод пищевых и перерабатывающих предприятий / В. Н. Яромский. – Минск : Изд. центр БГУ, 2009. – 171 с.

References

- Gavrilenk A. M., Sarcina S., Zuev S. B. *Ekologicheskaya bezopasnost' pishchevykh proizvodstv* [Ecological safety of food production]. St. Petersburg, 2006, 272 p.
- Gigienicheskie normativy 2.1.7.12-1-2004. Perechen' predel'no dopustimykh kontsentratsij (PDK) i orientirovchno dopustimykh kontsentratsij (ODK) khimicheskikh veshhestv v pochve* [Hygienic standards 2.1.7.12-1-2004. List of maximum permissible concentrations (MPC) and approximate permissible concentrations (APC) of chemicals in soil]. Minsk, 2004, 26 p.
- Instruktsiya po izvestkovaniyu kislykh pochv sel'skokhozyajstvennykh ugodij Respubliki Belarus'* [Instructions for liming of acidic soils of agricultural lands of the Republic of Belarus], Minsk, 1997.

4. *Issledovanie kachestvennykh i kolichestvennykh kharakteristik obezvozhenного osadka lokal'nykh ochistnykh sooruzhenij SP «Santa Bremor» OOO s tsel'yu razrabotki sposobov ikh primeneniya v kachestve udobreniya* [Research of qualitative and quantitative characteristics of dewatered sludge of a local sewage treatment facilities of JV "Santa Bremor" LLC with the aim of developing methods of their application as fertilizer : research report (concluded), The State Scientific Establishment "The Polesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]; hands. A. N. Litskevich]. Brest, 2016, 53 p., no. GR 20132320.
5. Komarov V. I., Lebedev V. I., Manuilov T. A. *Tekhnogennoe vliyanie predpriyatiy pishchevoj promyshlennosti na okruzhayushchuyu sredu: problemy i resheniya* [Technogenic influence of enterprises of food industry on the environment: problems and solutions]. Moscow, 2002, 76 p.
6. Litskevich A. N., Gulkovich M. V., Chernichko O. A. *Ispol'zovanie osadka proizvodstvennykh stochnykh vod dlya polucheniya udobrenij* [Use of sludge of industrial sewage sludge for getting fertilizer]. Problemy rekul'tivatsii otkhodov byta, promyshlennogo i sel'skokhozyajstvennogo proizvodstva: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. Konferentsii [Proc. Int. sci.-pract. conf. "Problems of recultivation of waste from household, industrial and agricultural production"]. Brest, 2015, pp. 75–82.
7. Litskevich A. N., Gulkovich M. V., Chernichko O. A. *Issledovanie khimicheskogo sostava i svojstv osadkov proizvodstvennykh stochnykh vod i razrabotka sposobov ikh ispol'zovaniya v kachestve organicheskikh udobrenij* [The research of chemical composition and properties of sediments of industrial waste waters and methods of their use as organic fertilizers]. Materialy Mezhdunarodnoi konferencii "Problemy rekul'tivatsii otkhodov byta, promyshlennogo i sel'skokhozyajstvennogo proizvodstva" [Proc. Int. sci.-ecol. conf. "Problems of recultivation of waste household, industrial and agricultural production"]. Brest, 2015, pp. 413–416.
8. Litskevich A. N., Gulkovich M. V., Chernichko O. A. *Ispol'zovanie osadkov proizvodstvennykh stochnykh vod rybo- i molokopererabatyvayushchikh predpriyatiy v kachestve syr'ya dlya proizvodstva udobrenij* [Use of industrial sewage sludge of fish and milk processing enterprises as raw materials for fertilizer production]. Melioratsiya i vodnoe khozyaistvo: problemy i puti resheniya: Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Kostyakovskie chteniya). Tom II. [Proc. of the sci.-pract. conf. "Irrigation and water management: problems and solutions"]. Moscow, Publishing House, VNIIA, 2016, vol. II, pp. 199–204.
9. Lorents V. I. *Ochistka stochnykh vod predpriyatiy pishchevoj promyshlennosti* [Wastewater treatment of food industry enterprises]. Kiev, 1972, 188 p.
10. *Ob obrazhenii s otkhodami: Zakon Resp. Belarus'*, 20 iyulya 2007 g., № 271-3 v red. *Zakona Resp. Belarus'* ot 15 iyulya 2015 g. [About waste management: the Law of Rep. Belarus, July 20, 2007 no. 271-3 in ed. Law Rep. of Belarus of July 15, 2015]. Minsk, LLC "Urspektr" National center for legal inform. Republic of Belarus, 2002 (Accessed 11 January 2017).
11. Turenkov N. I., Zhigarev P. F., Zueva L. I., Resheckij N. P., Bartoshik M. I., Shkel' M. P., Asaenok N. A., Snigirev G. S., Tarasevich I. F., Kalikinskij A. A. *Tekhnologija primeneniya osadka gorodskikh stochnykh vod i kompostov iz tverdykh bytovykh otkhodov v kachestve organicheskikh udobrenij v BSSR (rekomendatsii)* [Application technology of sludge from the city sewage sludge and composts from municipal solid wastes as organic fertilizers in the BSSR (recommendations)]. Minsk, 1988, 28 p.
12. Hammer M. *Tekhnologiya ochistki stochnykh i prirodnykh vod* [Technology of treatment of waste and natural waters]. Moscow, 1979, 400 p.
13. *Ekologicheskiy byulleten' 2010–2015* [Environmental Bulletin 2010–2015]. Available at: <http://minpriroda.gov.by/ru/> (Accessed 1 February 2017).
14. Yakovlev S. V., Kareljin Y. A., Voronov Yu. V. *Ochistka proizvodstvennykh stochnykh vod* [Industrial wastewater treatment]. Moscow, 1979, 320 p.
15. Yakovlev S. V., Gentle Yu. M. *Kanalizatsiya* [Sewerage]. Moscow, 1987, 320 p.
16. Jaromski V. N. *Ochistka stochnykh vod pishchevykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy* [Wastewater treatment of food and processing plants]. Minsk, Publishing center of BSU, 2009, 171 p.

Информация об авторах

Литкеевич Анатолий Николаевич – зав. лаб. гидроэкологии и экотехнологий, Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларусь (ул. Московская, 204/1-1, 224020, г. Брест, Беларусь). E-mail: litskevichanatoli@gmail.com

Басалай Екатерина Николаевна – мл. науч. сотрудник Полесского аграрно-экологического института НАН Беларусь (ул. Московская, 204/1-1, 224020, г. Брест, Беларусь). E-mail: basalaiekaterina@yandex.ru

Information about the authors

Anatolij N. Litskevich – Head of the Lab. of Hydroecology and Environmental Technology, Polesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (204/1-1, Moscovskaya Str., 224020, Brest, Republic of Belarus). E-mail: litskevichanatoli@gmail.com

Ekaterina N. Basalai – Junior Researcher, Polesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (204/1-1, Moscovskaya Str., 224020, Brest, Republic of Belarus). E-mail: basalaiekaterina@yandex.ru

УДК 628.381.1; 658.567.5

Поступила в редакцию 14.02.2018
Received 14.02.2018

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ИЗ ОТХОДОВ МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

М. В. Гулькович¹, А. Н. Лицкевич¹, Н. Н. Бамбалов²

¹Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, Брест, Беларусь;

²Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Рассматриваются проблемы образования, накопления и утилизации осадков сточных вод молокоперерабатывающего предприятия. Представлены результаты исследований химического состава осадков сточных вод локальных очистных сооружений ОАО «Щучинский МСЗ», подтверждающие их высокую удобрительную ценность. Предложен способ обеззараживания осадков сточных вод и получения органического удобрения на их основе путем биотермической обработки с добавлением отхода свеклосахарного производства (дефеката).

Ключевые слова: осадки сточных вод; утилизация осадков; компостирование; органическое удобрение; тяжелые металлы.

Для цитирования. Гулькович М. В., Лицкевич А. Н., Бамбалов Н. Н. Технология получения удобрений из отходов молокоперерабатывающих предприятий // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 246–253.

TECHNOLOGY OF OBTAINING FERTILIZERS FROM WASTE PRODUCTS FROM MILK PROCESSING PLANTS

M. V. Gulkovich¹, A. N. Litskevich¹, N. N. Bambalov²

¹The Polesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Brest, Belarus;

²Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The possibility of using sewage sludge from the milk processing plants as components for the production of organic fertilizers is considered. The technology of joint processing of sewage sludge and waste of sugar production into organic fertilizer is proposed. The results of agrochemical, microbiological and toxicological studies of the experimental sample of the obtained organic fertilizer are presented, proving its high fertilizing value and safety for the environment.

Keywords: sewage sludge; utilization of sewage sludge; composting; organic fertilizer; heavy metals.

For citation. Gulkovich M. V., Litskevich A. N., Bambalov N. N. Technology of obtaining fertilizers from waste products from milk processing plants. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 246–253.

Введение. В Беларуси имеется 45 предприятий по переработке молока, на каждом из которых в значительных количествах образуются отходы в виде жидкого ила сточных вод, например, только на ОАО «Щучинский МСЗ» ежегодно образуется 25,5 тыс. м³ жидкого осадка, из которого после специальной технологической обработки, получают 2190 т обезвоженного осадка, который по мере накопления вывозится на полигон твердых бытовых отходов, что требует существенных финансовых затрат предприятия. Накапливаясь в больших объемах, такие отходы представляют серьезную экологическую угрозу, поскольку они содержат болезнетворные организмы и тяжелые металлы. Вместе с тем данные отходы можно рассматривать не только с позиций загрязнения окружающей среды, но и как недоиспользованное сырье, которое можно вернуть в ресурсный цикл, в частности использовать отходы в качестве источника сырья для производства органических и органоминеральных удобрений. В Беларуси в последние годы используется по 9,6 т/га органических удобрений, при необходимости применения 12 т/га, т. е. фактически земледелие республики работает в условиях их дефицита с негативными экономическими и экологическими последствиями.

Осадки сточных вод (ОСВ) имеют сложный химический состав со значительным содержанием органического вещества, азота и зольных элементов, в первую очередь фосфора и калия, что указывает на высокую удобрительную ценность этих отходов, однако наличие тяжелых металлов и болезнетворных организмов не всегда позволяет без специальной технологической переработки использовать такие осадки в качестве удобрений. Кроме этого ОСВ имеют влажность 85 % и более, потому обладают вязко-пластичной структурой, исключающей их внесение в почву средствами механизации. Для использования ОСВ в качестве удобрений им необходимо придать сыпучесть, что может быть достигнуто смешиванием с отходом сахарного производства – дефекатом, влажность которого находится в пределах 30–35 %.

Цель работы – обосновать последовательность технологических обработок и технологические режимы преобразования ОСВ в удобрения на примере отходов ОАО «Щучинский МСЗ» в смеси с отходами сахарного производства ОАО «Скидельский сахарный комбинат».

Объекты и методы исследований. На Щучинском маслосырзаводе сточные воды образуются из трех источников: первый – загрязненные производственные стоки от промывки и обеззараживания технологического оборудования и трубопроводов, от мокрой уборки цеховых и вспомогательных помещений, а также вещества аварийных спусков молочных продуктов и сыворотки. Этот тип сточных вод составляет основу всего объема образующихся стоков и наиболее загрязнен органическими веществами; второй тип – хозяйствственно-бытовые сточные воды, третий – поверхностные сточные воды с территории завода, образующиеся в результате смывания дождевой, талой и поливочной водой компонентов, скапливающихся на крышах и стенах производственных зданий и на территории предприятия; основными компонентами этого типа вод являются твердые частицы (песок, камни, пыль, остатки растений и т. п.) и нефтепродукты, используемые в транспортных средствах.

На ОАО «Щучинский МСЗ» сточные воды сначала очищаются механически от примесей на барабанном сите, затем осуществляется их физико-химическая очистка методами флокуляции и флотации с использованием катионных и анионных флокулянтов Нитрофлок К1337, Нитрофлок А1374, флокулянтов Poliflock SPB 8617, AN 956 SH и EXTRAFLOCK P170, а также коагулянтов Fer-Aqua-17 и Полвак-68 (табл. 1).

Флотошлам удаляется скребковым механизмом и подается в накопитель. После физико-химической очистки сточные воды подаются в аэротенк, где осуществляется их биологическая очистка с удалением продуктов во флокуляторе. После биологической очистки циркуляционный ил направляется в контактный резервуар, а избыточный активный ил поступает в накопитель, где смешивается с флотошламом. Обезвоживание осадка ($10 \text{ м}^3/\text{ч}$) осуществляется на ленточном пресс-фильтре. Ежедневно образуется около 6 т обезвоженного осадка, который вывозится на полигон твердых бытовых отходов, при этом предприятие оплачивает расходы на его утилизацию. Очищенные сточные воды поступают в городскую канализацию, их общий объем составляет $1000 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Обезвоженный осадок по внешнему виду представляет собой вещество светло-серого цвета с характерным неприятным запахом за счет быстрого загнивания белковых компонентов. Для исследований состава и свойств ОСВ пробы отбирали непосредственно с обезвоживающего устройства согласно РД РБ 0212.6-2002 «Методика отбора проб отходов» [1] и упаковывали их в герметичные емкости из химически нейтрального материала, а для санитарно-бактериологических исследований – в стерильные емкости.

Качественный состав исследуемого осадка анализировали по показателям содержания сухого и органического вещества, золы, общего азота (сумма азота органических, нитратных и аммонийных соединений), содержания доступных для растений форм фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O), а также по величине pH_{KCl} (табл. 2). Данные о содержании тяжелых металлов представлены в табл. 3.

Сухое вещество исследуемого ОСВ характеризуется высоким содержанием органических соединений (80,33 %), которое представлено главным образом белками, жирами и углеводами, причем основную долю составляют белки. Согласно ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 [2], содержание общего азота и подвижного фосфора в сухом веществе осадка должно быть не менее 0,6 и 1,5 % соответственно. В исследуемом ОСВ ОАО «Щучинский МСЗ» в среднем содержится 4,36 % азота, 1,96 % подвижного фосфора и 1,12 % подвижного калия. Следует отметить неоднородность состава отдельных проб ОСВ по исследуемым агрохимическим показателям, особенно по содержанию сухого и органического вещества и питательных веществ для растений. Содержание общего азота варьировалось в пределах 7,20–1,29 %, подвижных соединений фосфора (P_2O_5) – 2,60–1,33 %. Эта особенность ОСВ связана с разными источниками сточных вод и неодинаковым содержанием в них исследуемых компонентов. Содержание тяжелых металлов не превышает ПДК, установленных для осадков. Полученные агрохимические характеристики свидетельствуют о пригодности исследуемых ОСВ для производства удобрений. Аналогичные анализы выполнены и для дефеката сахарного завода (табл. 2).

Таблица 1. Основные показатели коагулянтов торговых марок «ПОЛВАК» и «Fer-AQUA»

Table 1. Main indicators of brand coagulants “POLVAK” and “Fer-AQUA”

Показатель	Полвак-68	Fer-Aqua-17
Внешний вид	Зеленовато-желтая жидкость	Жидкость с окраской от светло-коричневого до темно-бурового оттенка
Массовая доля основного вещества, %	$13 \pm 0,5$ (по Al_2O_3)	Fe^{3+} – не менее 13,7 Fe^{2+} – $0,7 \pm 0,5$
Плотность раствора при температуре 20 °C, г/см³	$1,30 \pm 0,05$	$1,40 \pm 0,1$
Массовая доля Cl^- , %	13 ± 5	–
Массовая доля свободной соляной кислоты, %	–	1,5
pH	$2,0\text{--}2,5$	–

Таблица 2. Качественные характеристики ОСВ ОАО «Щучинский МСЗ» и дефеката сахарного производства ОАО «Скидельский сахарный комбинат»

Table 2. Qualitative characteristics of the sewage sludge of JSC “Shchuchin creamery” and defecate of sugar production of JSC “Skidelsky sugar refinery”

Качественные характеристики	ОСВ	Дефекат
Влажность, %	94,44	30,66
Гигроскопическая влажность, %	9,24	4,51
Сухое вещество, г/кг	55,60	693,40
Зольность, %	19,67	80,32
Органическое вещество, %	80,33	19,68
pH _{KCl}	5,64	9,30
Общий азот, %	4,36	0,45
Подвижный фосфор P ₂ O ₅ , %	1,96	0,04
Подвижный калий K ₂ O, %	1,12	0,02
Сырой протеин, %	36,84	—
Сырой жир, %	3,77	—
Сырая клетчатка, %	4,30	—
Влажность, %	94,44	30,66

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в ОСВ ОАО «Щучинский МСЗ» и дефекате сахарного производства ОАО «Скидельский сахарный комбинат», мг/кг (в сухом веществе)

Table 3. The content of heavy metals in the sewage sludge of JSC “Shchuchin creamery” and defecate of sugar production of JSC “Skidelsky sugar refinery”, mg/kg (in dry matter)

Металл	ОСВ	Дефекат	ПДК для почв [3]	ПДК, для осадков I группы [2]
Pb	0,579	7,86	32	250
Cd	0,007	0,03	0,5	15
Zn	26,30	30,14	55	1750
Cu	3,16	1,14	33	750
Mn	17,63	123,44	1000	—
Ni	1,48	1,56	20	200
Co	0,05	0,70	20	—
Cr	17,28	21,87	100	500

Однако данных только об агрохимических свойствах недостаточно для принятия решения о целесообразности переработки ОСВ в удобрения, так как использование ОСВ в земледелии связано с рядом санитарно-гигиенических проблем. Одна из них – высокое содержание патогенных и условноПатогенных микроорганизмов. В ОСВ могут содержаться: шигеллы, сальмонеллы, микобактерии, вирусы и другие опасные организмы. Поступив в почву вместе с осадками, они надолго сохраняются в ней, что приводит к ухудшению санитарно-гигиенических показателей почвы.

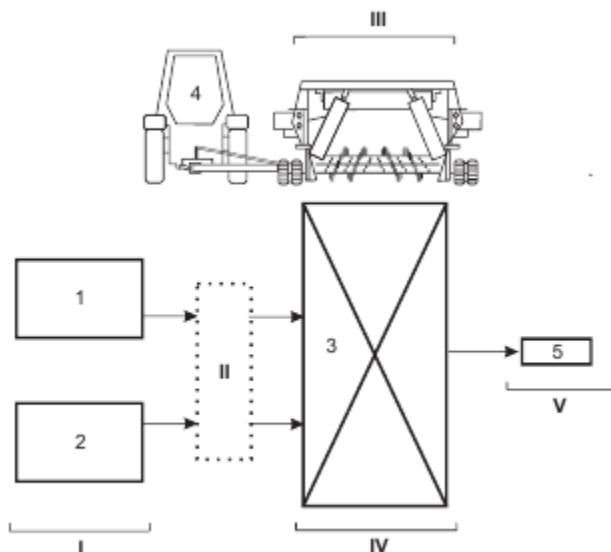
В настоящее время санитарно-гигиеническое нормирование ОСВ проводится по наличию бактерий группы кишечной палочки (БГКП) и патогенной микрофлоры [2, 4]. Соответствующие определения выполняли традиционными методом бактериологического анализа [4]. Результаты исследований содержания санитарно-показательных бактерий в исследуемом ОСВ, представленные в табл. 4, однозначно свидетельствуют о загрязнении исследуемых ОСВ патогенными организмами, так как титр БГКП составил 0,000001 при норме не менее 0,01 [2]. В результате проведенных санитарно-бактериологических исследований выявлено, что ОСВ ОАО «Щучинский МСЗ» не пригодны для использования в сыром виде в качестве удобрения по санитарно-бактериологическим показателям и требуют предварительной специальной обработки с целью обеззараживания.

Результаты и их обсуждение. Выполненный нами сравнительный анализ трех методов обеззараживания ОСВ ОАО «Щучинский МСЗ» показал, что методы сбраживания и стабилизации обезвоженных осадков в полной мере не решают проблему их обеззараживания от патогенных организмов [6]. Метод компостирования позволяет решить эту задачу за счет многомесячного выдерживания ОСВ при температурах 55–65°C, поэтому разработанная технология переработки ОСВ молокоперерабатывающего предприятия в удобрения основана на процессе их компостирования.

Общая технологическая схема переработки ОСВ ОАО «Щучинский МСЗ» в удобрения представлена на рисунке. При разработке технологии исходили из принципа использования стандартного технологического оборудования для дозирования и смешивания компонентов, формирования штабелей и т. д.

Таблица 4. Санитарно-показательные бактерии в ОСВ**Table 4. Sanitary-indicative bacteria in the sewage sludge**

Образец	Титр БГКП	Титр энтерококков	Патогенные бактерии, в том числе сальмонеллы	Титр <i>Cl. perfringens</i>
ОСВ сырой ОАО «Щучинский МСЗ»	10^{-5}	10^{-4}	0	0,1
Гигиеническая норма для почв [5]	1,0 и выше	1,0 и выше	0	0,01 и выше
Норма для ОСВ [2]	0,01 (ОСВ I группы) 0,001 (ОСВ II группы)	—	—	—



Технологическая схема производства органического удобрения из ОСВ:

1 – накопительная емкость для ОСВ; 2 – накопительная емкость для дефеката; 3 – бурт;
4 – аэратор – смеситель компостов; 5 – готовое удобрение; I – доставка компонентов удобрения;
II – дозирование компонентов удобрения; III – смешивание компонентов удобрения и буртование;
IV – биотермическая обработка; V – отгрузка готового удобрения

Technological scheme of production of organic fertilizer from sewage sludge:

1 – storage capacity for sewage sludge; 2 – storage capacity for defecate; 3 – compost pile;
4 – aerator-mixer of compost; 5 – ready fertilizer; I – delivery of fertilizer components;
II – dosing of fertilizer components; III – mixing of fertilizer components and forming a compost pile;
IV – composting; V – shipment of ready fertilizer

Применение технологии компостирования позволяет устранить основные недостатки ОСВ: увеличить содержание твердой фазы, стабилизировать органическую составляющую, уменьшить содержание подвижных форм тяжелых металлов и обеспечить обеззараживание. В работах [7–9] отмечено, что соединения органического вещества после длительного вылеживания ОСВ в буртах биохимически более устойчивы и оказывают более длительное воздействие на содержание органического вещества в почве, по сравнению с исходным материалом.

Для создания пористой сыпучей структуры и оптимальной влажности удобрения целесообразно компостировать ОСВ в смеси с наполнителем – отходом свеклосахарного производства – дефекатом, представляющим собой фильтрационный осадок, образующийся в процессе очистки диффузационного сока и состоящий, главным образом, из углекислого кальция (до 70 % и более) в смеси с органическим веществом. Наличие в дефекате сахарных заводов углекислого кальция, биогенных элементов и органического вещества, а также сравнительно невысокая влажность (30–35 %) определяют целесообразность его использования в качестве компонента удобрений и мелиорантов. Высокое содержание в составе дефеката углекислой и едкой извести позволяет применять его для обеззараживания ОСВ и получения почвоулучшителя, обладающего известковым эффектом. Однако широкое приме-

нение данного отхода ограничено неоднородностью его химического состава, зависящего от технологии получения, поэтому использовать дефекат в качестве удобрения можно только после всестороннего изучения его химического состава и тех изменений в развитии растений и свойств почвы, которые будут вызваны его внесением [10–13].

Результаты химического анализа дефеката ОАО «Скидельский сахарный комбинат» (табл. 2) показали, что содержание органического вещества составляет 19,68 %, общего азота – 0,45, подвижного фосфора 0,035, подвижного калия – 0,019 %; pH данного вида отходов находится в диапазоне 8,96–9,70. Содержание валовых форм тяжелых металлов в дефекате не превышает ПДК (см. табл. 2).

Технологическая схема производства органического удобрения «Эко-Диво» из ОСВ ОАО «Щучинский МСЗ» включает следующие этапы (см. рисунок):

- прием исходных компонентов удобрения;
- дозирование компонентов удобрения;
- смешивание компонентов и формирование штабелей;
- биотермическую обработку в штабелях;
- хранение и отгрузку готового удобрения.

Получение органического удобрения «Эко-Диво» для сельскохозяйственных культур с надлежащими характеристиками невозможно без обеспечения стабильной и надежной работы оборудования в целом и отдельных устройств, механизмов и систем. Внедрение систем механизации и автоматизации позволяет снизить издержки производства, максимально снизить долю ручного немеханизированного труда.

Основное применяемое оборудование (табл. 5): аэратор-смеситель компостов для смешивания составляющих компонентов удобрения и формирования компостных куч; фронтальный погрузчик.

Режим работы оборудования – периодический, до 800 ч в году (ежедневная доставка 6 т ОСВ на производственный участок, дозирование, смешивание с дефекатом).

Численность производственного персонала – 2 человека (выполнение операций и контроль).

Длительность компостирования составляет до 6 месяцев в летний и до 12 месяцев в зимний периоды (за это время достигается обеззараживание и стабилизация ОСВ).

Общие производственные площади, обеспечивающие технологический цикл изготовления готовой продукции, составляют около 1500 м², включая подсобные и складские помещения. Размер производственных площадей зависит от объема производства. Производственный участок занимает территорию не менее 1000 м².

Производство органического удобрения «Эко-Диво» для сельскохозяйственных культур не должно располагаться в жилой зоне населенного пункта.

Органическое удобрение «Эко-Диво» для сельскохозяйственных культур и применяемое сырье не обладают способностью образовывать токсичные соединения в воздушной среде, сточных водах и донных отложениях в присутствии других веществ или факторов при температуре окружающей среды.

Продукция в процессе изготовления подвергается операционному контролю, а по готовности партии – приемо-сдаточным испытаниям.

Сырье, поступающее на предприятие, должно проверяться при входном контроле на соответствие требованиям технической и нормативной документации. Хранение сырья должно осуществляться на специальном участке, изолированном от участка хранения готовой продукции.

Смесь для компостирования должна содержать 85 мас.% на естественную влажность ОСВ ОАО «Щучинский МСЗ» и 15 % дефеката [14].

Таблица 5. Спецификация технологического оборудования

Table 5. Specification of process equipment

Номер на схеме технологического процесса	Наименование оборудования, тип, марка	Количество единиц	Техническая характеристика оборудования (мощность, производительность, КПД и т. д.)
III	Аэратор – смеситель компостов ACK-3,5 или ACK-4,5	1	Размеры формируемого бурта, мм: – ширина – 4500; – высота – 2000. Рабочая скорость, км/ч – до 0,2. Производительность за 1 час основного времени, м ³ – 250–355
I, V	Погрузчик универсальный для использования в строительстве, коммунальном и сельском хозяйстве	1	Грузоподъемность – 5–10 т. Мощность двигателя – 200–500 Нр. Объем ковша – V = 3 м ³ , зубья на болтах

Органическое удобрение «Эко-Диво» для сельскохозяйственных культур должно соответствовать требованиям ТУ BY 500017450.049-2017 и изготавливаться по технологическому регламенту, разработанному и утвержденному в установленном порядке, с соблюдением действующих санитарных норм (табл. 6).

В сухом веществе полученного органического удобрения содержалось в среднем 52 % органического вещества, 2,0 % общего азота, 1,8 % и 0,9 % подвижных соединений фосфора и калия соответственно, рН 6,8.

В табл. 7 отражено содержание санитарно-показательных бактерий в органическом удобрении на основе ОСВ и дефеката. Как видно из данных табл. 7, опытный образец органического удобрения соответствует гигиеническим нормативам для почв.

В органическом удобрении «Эко-Диво» не обнаружено кадмия на уровне чувствительности методов определения, а содержание остальных элементов в пересчете на норму расхода удобрения не будет превышать ПДК для почвы (табл. 8).

По результатам токсикологических исследований органическое удобрение «Эко-Диво» отнесено к малоопасным (IV класс).

Таблица 6. Свойства и характеристики органического «Эко-Диво» для сельскохозяйственных культур

Table 6. Properties and characteristics of organic fertilizer “Eco-Divo” for agricultural crops

Показатель	Норма	Метод контроля
Внешний вид, цвет	Однородная, структурированная масса серого цвета	Визуально (ТУ BY 500017450.049-2017, п. 5.3)
Массовая доля влаги, %	Не более 80 %	ГОСТ 26713-85
Массовая доля органического вещества на сухой продукт, %	Не менее 40 %	ГОСТ 27980-88
Показатель активности водородных ионов солевой суспензии, рН _{KCl}	6,2–8,2	ГОСТ 27979-88
Насыпная плотность, г/л	600–1000	ГОСТ 24701-81
Массовая доля питательных элементов (в абс. сухом веществе), %: – азота общего; – фосфора общего, в пересчете на P ₂ O ₅ ; – калия общего, в пересчете на K ₂ O	Не менее 1,5 Не менее 1,2 Не менее 0,7	ГОСТ 26715 ГОСТ 26717 ГОСТ 26718

Таблица 7. Санитарно-показательные бактерии в органическом удобрении «Эко-Диво»

Table 7. Sanitary-indicative bacteria in organic fertilizer “Eco-Divo”

Показатель	Органическое удобрение «Эко-Диво»	Гигиеническая норма для почв [5]	Норма для ОСВ [2]
Титр БГКП, г	>1	1,0 и выше	0,01 (ОСВ I группы) 0,001 (ОСВ II группы)
Титр энтерококков, г	>1	1,0 и выше	–
Патогенные бактерии, в том числе сальмонеллы	0	0	–

Таблица 8. Содержание тяжелых металлов в органическом удобрении «Эко-Диво»

Table 8. The content of heavy metals in organic fertilizer “Eco-Divo”

Учреждение/Предприятие	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Mn	Cr
ГНУ «Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларусь» (ГОСТ 26929-94, ГОСТ 30178-96)	1,81	н. о.	15,76	59,89	1,94	25,50	21,57
РУП «Научно-практический центр гигиены» (МВИ.МН 3280-2009)	н. о.	н. о.	–	52,69	2,5	н. о.	н. о.
РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства, 1992)	5,01	н. о.	–	–	0,61	–	5,18

Примечание: н. о. – не обнаружено на уровне чувствительности методики.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено следующее.

1. Ежедневно на очистных сооружениях ОАО «Щучинский МСЗ» образуется около 6 т обезвоженного осадка (что в год составляет 2190 т), который может быть переработан в эффективное органическое удобрение.
2. Сухое вещество осадка ОАО «Щучинский МСЗ» содержит 80,33 % органического вещества, 4,36 % азота и 1,96 % фосфора. Содержание ТМ в осадке не превышает ПДК, установленные как для ОСВ, так и для почв.
3. Микробиологические исследования ОСВ ОАО «Щучинский МСЗ» показали, что осадок нельзя использовать в качестве удобрения без предварительного обеззараживания (титр БГКП и титр энтерококков составили 10^{-6} и 10^{-4} соответственно при норме 1,0 и выше).
4. Компостирование ОСВ совместно с дефекатом позволило уменьшить влажность осадка до 80 %, стабилизировать органическую составляющую, обеспечить обеззараживание от патогенных бактерий.
5. В органическом удобрении не обнаружены патогенные бактерии, титр БГКП и титр энтерококков находятся в пределах допустимого, т. е. по санитарно-бактериологическим показателям исследуемое органическое удобрение «Эко-Диво» безопасно для окружающей среды.
6. Органическое удобрение на основе ОСВ и дефеката богато питательными веществами ($N_{общ}$ – 2,0 %, P_2O_5 – 1,8, K_2O – 0,9 %) и может обеспечить рост растений.

Список использованных источников

1. Методика отбора проб отходов : РД РБ 0212.6-2002 : введ. 02.01.03. – Минск : Мин-во природных ресурсов и охраны окруж. среды Респ. Беларусь, 2003. – 9 с.
2. Охрана природы. Почвы. Требования к свойствам осадков сточных вод при использовании их в качестве удобрений : ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. – Введ. 23.01.01. – М. : Госстандарт России, 2001. – 5 с.
3. Перечень предельно-допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно-допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве : Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. – Утв. 25.02.2004. – Минск : Мин-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2004. – 27 с.
4. Требования к сточным водам и их осадкам для орошения и удобрения : ГОСТ 17.4.3.05-86. – Введ. 01.07.87. – М., 1987 – 4 с.
5. Инструкция 4.2.10-12-9-2006. Методы санитарно-микробиологических исследований почвы : утв. пост. гл. гос. санит. врача 29.05.06. – Минск, 2006. – 32 с.
6. Лицкевич, А. Н. Способы стабилизации и детоксикации осадков сточных вод молокоперерабатывающих предприятий / А. Н. Лицкевич, М. В. Гулькович, О. А. Черничко // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2016. – Вып. 29.– С. 172–176.
7. Алексеева, А. С. Влияние применения нетрадиционных органических удобрений на накопление тяжелых металлов и биологическую активность дерново-подзолистых супесчаных почв : дис. ... канд. биол. наук : 06.01.04 / А. С. Алексеева. – М., 2002. – 145 с.
8. Кононов, О. Д. Рекомендации по использованию активного ила и гидролизного лигнина в лесных питомниках / О. Д. Кононов, Т. Б. Лагутина. – Архангельск, 1995. – 23 с.
9. Юмвихозе, Э. Эколого-биологическая оценка использования осадков сточных вод в качестве удобрения : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.04 / Э. Юмвихозе. – М., 1999. – 23 с.
10. Дефекат – перспективное удобрение-мелиорант / В. Д. Муха [и др.] // Агрономия. – 2011. – Т. 6, № 6. – С. 47–49.
11. Известковое удобрение : пат. RU 2446133 / А. С. Черных. – Опубл. 27.03.2012.
12. Славянский, А. А. Отходы сахарного производства и их использование в сельском хозяйстве / А. А. Славянский, Л. В. Киречева, Л.Н. Пузанова // Сахар. – 2009. – № 10. – С. 48–49.
13. Цуркан, К. П. Влияние дефеката сахарных заводов на плодородие и продуктивность сельскохозяйственных культур : автореф. дис. ... канд. с.-х. н.:06.01.04 / К. П. Цуркан ; Науч.-исслед. и проектно-технол. ин-т почвоведения, агрохимии и мелиорации им. Н. А. Димо. – Кишинев, 1992. – 45 с.
14. Лицкевич, А. Н. Использование осадков сточных вод молокоперерабатывающих предприятий в качестве нетрадиционных удобрений / А. Н. Лицкевич, М. В. Гулькович, О. А. Черничко // Техногенно-экологична безпека : наук.-техн. журн. – 2017. – № 2. – С. 40–44.

References

1. RD RB 0212.6-2002. Metodika otbora prob othodov [RD RB 0212.6-2002. Method of collecting waste samples]. Minsk, 2003. 9 p.
2. GOST R 17.4.3.07-2001. Ohrana prirody. Pochvy. Trebovaniya k svojstvam osadkov stochnyh vod pri ispol'zovanii ih v kachestve udobrenij [Protection of Nature. Soil. Requirements for the properties of sewage sludge when used as fertilizers]. Moscow, Gosstandart of Russia Publ., 2001, 5 p.

3. *Gigienicheskie normativy 2.1.7.12-1-2004. Perechen' predel'no-dopustimyh koncentracij (PDK) i orientirovchno-dopustimyh koncentracij (ODK) himicheskikh veshchestv v pochve* [The list of maximum permissible concentrations (MPC) and approximate-permissible concentrations (APC) of chemical substances in soil]. Minsk, 2004, 27 p.
4. *GOST 17.4.3.05-86. Trebovaniya k stochnym vodam i ih osadkam dlya orosheniya i udobreniya* [Requirements for wastewater and their deposits for irrigation and fertilization]. Moscow, 1987, 4 p.
5. *Instrukciya 4.2.10-12-9-2006. Metody sanitarno-mikrobiologicheskikh issledovanij pochvy* [The instruction 4.2.10-12-9-2006. Methods of sanitary-microbiological soil studies]. Minsk, 2006, 32 p.
6. Lickevich A. N., Gul'kovich M. V., Chernichko O. A. *Sposoby stabilizacii i detoksifikacii osadkov stochnyh vod molokopererabatyvayushchih predpriyatiy* [Methods of stabilization and detoxification of sewage sediments of milk processing establishments]. *Prirodopolzovanie, Sbornik nauchnyh trudov* [Proceedings of Institute for Nature Management of the NAS of Belarus "Nature Management"], Minsk, 2016, vol. 29, pp. 172–176.
7. Alekseeva A. S. *Vliyanie primeneniya netradicionnyh organicheskikh udobrenij na nakoplenie tyazhelyh metallov i biologicheskuyu aktivnost' dernovo-podzolistyh supeschanyh pochv*. Dis. kand. biol. nauk [Effect of the use of non-traditional organic fertilizers on the accumulation of heavy metals and the biological activity of sod-podzolic sandy loamy soils. Cand. biol. sci. diss.]. Moscow, 2002, 145 p.
8. Kononov O. D., Lagutina T. B. *Rekomendacii po ispol'zovaniyu aktivnogo ila i gidroliznogo lignina v lesnyh pitomnikah* [Recommendations on the use of activated sludge and hydrolytic lignin in forest nurseries]. Arkhangelsk, 1995, 23 p.
9. Yumvihoze E. *Ehkologo-biologicheskaya ocenka ispol'zovaniya osadkov stochnyh vod v kachestve udobreniya*. Avtoref. diss. kand. biol. nauk [Ecological and biological assessment of the use of sewage sludge as fertilizer. Cand. biol. sci. diss.]. Moscow, 1999, 23 p.
10. Muha V. D., Pigorev I. YA., Achkasov A. L., Nedbaev V. N., Miroshnichenko O. N., Hudyakov S. I., Bel'chikov E. V. *Defekat – perspektivnoe udobrenie-meliorant* [Defecate is a promising fertilizer-meliorant]. *Agronomiya = Agronomy*, 2011, vol. 6, no. 6, pp. 47–49.
11. Chernyh A. S. *Izvestkovoe udobrenie* [Lime fertilizer]. Patent RF, no. 2446133, 2012.
12. Slavyanskij A. A., Kirejcheva L. V., Puzanova L. N. *Otdyhy saharnogo proizvodstva i ih ispol'zovanie v sel'skom hozyajstve* [Waste of sugar production and their use in agriculture]. *Sahar = Sugar*, 2009, no. 10, pp. 48–49.
13. Curkan, K P. *Vliyanie defekata saharnyh zavodov na plodorodie i produktivnost' sel'skohozyajstvennyh kul'tur*. Avtoref. diss. kand. s.-h. nauk [Influence of defecate of sugar factories on fertility and productivity of agricultural crops. Cand. agricultural sci. diss.]. Kishinev, 1992, 45 p.
14. Lickevich A. N., Gul'kovich M. V., Chernichko O. A. *Ispol'zovanie osadkov stochnyh vod molokopererabatyvayushchih predpriyatiy v kachestve netradicionnyh udobrenij* [Using of sewage sludge dairy plants as non-traditional fertilizers]. *Tehnogenno-ekologichna bezpeka*, 2017, no. 2, pp. 40–44.

Информация об авторах

Гулькович Мария Васильевна – мл. науч. сотрудник, Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларусь (ул. Московская, 204/1-1, 224020, г. Брест, Республика Беларусь). E-mail: maria.gulkovich@gmail.com

Лицкевич Анатолий Николаевич – зав. лаб. гидроэкологии и экотехнологий, Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларусь (ул. Московская, 204/1-1, 224020, г. Брест, Республика Беларусь). E-mail: litskevichanatoli@gmail.com

Бамбалов Николай Николаевич – академик, д-р сельскохозяйственных наук, глав. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: humico@ecology.basnet.by.

Information about the authors

Maria V. Gulkovich – Junior Researcher, Polesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (204/1-1, Moskovskaya Str., 224020, Brest, Republic of Belarus). E-mail: maria.gulkovich@gmail.com

Anatolij N. Litskevich – Head of the Laboratory of Hydroecology and Environmental Technology, Polesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (204/1-1, Moskovskaya Str., 224020, Brest, Republic of Belarus). E-mail: litskevichanatoli@gmail.com

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

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ *BRIEF REPORTS*

УДК 330.5.051:553.04

Поступила в редакцию 14.02.2018

Received 14.02.2018

АНАЛИЗ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

A. V. Цедрик

Институт экономики Национальной академии наук Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Рассматривается роль и значение минерально-сырьевой отрасли и уровень ее освоения в Республике Беларусь. Показаны отличия и закономерности в части экспортных и импортных поставок в данной отрасли хозяйства страны. Отмечена важность мер по сохранению и улучшению окружающей среды. Недостаточно действенным остается экономический механизм природопользования и охраны окружающей среды с целью интенсификации освоения минерально-сырьевой отрасли, заложенной в различные программы (НСУР-2020, Стратегия развития геологической отрасли и интенсификации освоения минерально-сырьевой базы Республики Беларусь до 2025 года и т. д.).

Определена и показана роль природно-ресурсного потенциала с учетом национальных интересов Республики Беларусь. Требуются новые подходы к устойчивому развитию экономики. Одним из основополагающих приоритетов энергетической безопасности является замена импортируемого углеводородного топлива и комплексное вовлечение в топливно-энергетический баланс страны местных топливных ресурсов, возобновляемых и альтернативных источников энергии, используемых в промышленности как топливо и энергохимическое сырье.

Ключевые слова: рациональное использование; потребности экономики; структура внешней торговли; топливно-энергетические ресурсы; минерально-сырьевые ресурсы; устойчивое развитие; государственная экологическая политика; приоритет.

Для цитирования: Цедрик А. В. Анализ рационального использования минерально-сырьевых ресурсов в Республике Беларусь // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 254–259.

THE ANALYSIS OF RATIONAL USE OF MINERAL RAW MATERIAL RESOURCES IN REGIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS

A. V. Tsedrik

Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. The role and value of mineral and raw branch, level of her development in Republic of Belarus is considered. Differences and regularities regarding export and import deliveries in this branch of economy are shown. Importance of measures for preservation and improvement of the environment is noted. The attention is paid that insufficiently effective is an economic mechanism of environmental management and environmental protection for the purpose of an intensification of development of mineral and raw branch. This mechanism is put in various programs; NSSD-2020, the Development strategy of geological branch and an intensification of development of mineral resources of Republic of Belarus till 2025, etc.

The role of natural and resource potential taking into account national interests of Republic of Belarus is defined and shown. New approaches to sustainable development of economy are required. One of fundamental priorities of energy security is replacement of the imported hydrocarbonic fuel and complex involvement in fuel and energy balance of the country of local fuel resources, renewable and the alternative energy sources used in the industries as fuel and power chemical raw materials.

Key words: rational use; requirements of economy; structure of foreign trade; fuel and energy resources; mineral raw material resources; sustainable development; state environmental policy; priority.

For citation. Tsedrik A. V. The analysis of rational use of mineral raw material resources in regions of the Republic of Belarus. *Nature Management*, 2018, no. 1, pp. 254–259.

Введение. Человеческая деятельность оказывает все большее воздействие на целостность экосистем, которые обеспечивают жизненно важные функции в интересах благосостояния человека и хозяйственной деятельности. Сохранение благоприятной окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов для удовлетворения потребностей ныне живущих и будущих поколений

лений является высшим приоритетом НСУР-2020. Его реализация осуществляется путем разработки и проведения активной государственной экологической политики, основанной на интеграции экономического, экологического и социального аспектов развития [1, с. 155].

Развитие экономики в ближайшие годы должно базироваться на планомерном росте ее составляющих, и, прежде всего, за счет минерально-ресурсного потенциала. При этом под устойчивым развитием (применительно к минерально-сырьевым ресурсам) подразумевается гарантированное обеспечение экономической безопасности страны путем создания надежной минерально-сырьевой базы для удовлетворения текущих и перспективных потребностей экономики Республики Беларусь с учетом экологических, социальных, демографических, оборонных и других факторов. За эти годы в Республике Беларусь уже сложилась спецификация промышленности и других отраслей в условиях наличия собственной минерально-сырьевой базы, хотя и остались прежние перекосы в условиях развития общего государства, есть дисбаланс в энергетике и ряде отраслей промышленности.

Цель работы – проанализировать и определить потенциальные возможности минерально-сырьевой базы Республики Беларусь в соответствии со стратегией «Наука и технологии 2018–2040», анализ их современного состояния.

Задачами, которые ставятся в данной публикации, являются:

- анализ современного состояния минерально-сырьевой базы Беларусь;
- определение уровня экспортных и импортных возможностей нефти сырой и ее производных нефтепродуктов;

– выявление горючих полезных ископаемых, способных успешно войти в народно-хозяйственный комплекс для обеспечения энергетической безопасности Республики Беларусь;

– определение предпосылок для реализации прав нынешних и будущих поколений на благоприятную окружающую среду и экологически безопасные условия проживания.

Устойчивое развитие экономики Беларуси невозможно без достижения необходимого уровня добычи полезных ископаемых, которые являются основой материального производства и национальной безопасности страны. Стратегия развития геологической отрасли и интенсификации освоения минерально-сырьевой базы Республики Беларусь до 2025 года, утвержденная 6 марта 2013 г., предусматривает обеспечение промышленного комплекса Беларуси собственным минеральным сырьем, а именно наращивание использования местных полезных ископаемых и постепенное вытеснение импортируемых. В этой связи особое значение принадлежит повышению ответственности при принятии управлеченческих решений, направленных на рациональное и экономически эффективное использование минеральных ресурсов. Основным механизмом реализации данной задачи является развитие соответствующего информационного обеспечения, важным элементом которого является система бухгалтерского учета и отчетности предприятий-недропользователей [2].

Тем не менее минерально-сырьевая база Беларуси является достаточной для удовлетворения потребностей промышленности строительными материалами, располагает значительными запасами калийных, каменной соли и доломитов, а также значительными ресурсами подземных пресных и минеральных вод.

Минерально-сырьевые ресурсы играют доминирующую роль в товарной структуре внешней торговли Республики Беларусь. Так, в 2010 г. доля минеральных продуктов в общем объеме экспорта и импорта составила 28,2 и 35,4 %, а в 2015 г. – соответственно 29,9 и 31,1 % соответственно.

Так, в соответствии с Концепцией национальной безопасности Республики Беларусь в составе основных угроз выделяются истощение минеральных ресурсов, низкий уровень самообеспечения ресурсами, недостаточное развитие систем учета природных ресурсов. Стратегия развития геологической отрасли и интенсификации освоения минерально-сырьевой базы Республики Беларусь до 2025 года предусматривает развитие экономического механизма ресурсопользования, а также разработку системы экономических показателей, позволяющих оценить эффективность вовлечения полезных ископаемых в хозяйственный оборот, повышение экономической ответственности в принятии соответствующих управлеченческих решений [3, с. 281].

В качестве основных теоретических предпосылок для исследования данной проблемы могут быть приняты следующие исходные:

– устойчивое использование минерально-сырьевых ресурсов непосредственно связано с экономическим развитием, которое обеспечивает поддержание на должном уровне возобновляемых полезных ископаемых (подземные воды и др.) и относительное сохранение запасов и объемов истощаемых природных ресурсов (прежде всего стратегических полезных ископаемых);

– минерально-сырьевые ресурсы, как и другие природные объекты, являются первичной основой создания национального богатства и благосостояния людей, что обуславливает необходимость принятия мер по обеспечению взимания соответствующих доходов от природного капитала и пре-

вращения его в устойчивый экономический рост с целью получения положительного вклада в социальное благосостояние всего населения;

– создание соответствующих институтов и методов эффективного управления минерально-сырьевыми ресурсами, когда обеспечивается использование доходов, получаемых от природных ресурсов, для долгосрочного экономического развития; установление цен на минерально-сырьевые ресурсы, учитывающее интернационализацию экологических затрат и включение их в цену добычи и использования минерально-сырьевых ресурсов для создания стимулов устойчивого экономического управления;

– обеспечение прозрачности и эффективности механизмов управления доходами, получаемых от использования минерально-сырьевых ресурсов, направленных на трансформацию их богатства в создание других видов – производственного, человеческого и социального капиталов;

– проведение исследований с целью получения новых знаний об изменении социально-экономических условий, обеспечивающих повышение эффективности использования минерально-сырьевых ресурсов и позволяющих постоянно совершенствовать методы и систему управления такими ресурсами в интересах устойчивого экономического развития страны.

Экономическая оценка природных ресурсов, в том числе и минерально-сырьевых, представляется весьма актуальной, так как является одним из направлений оценочной деятельности и включает в себя оценку промышленной и иной ценности природных объектов, в том числе и месторождений полезных ископаемых. Такая оценка необходима также для определения экономической ценности наиболее эффективных и безопасных с экологической точки зрения способов освоения ценных месторождений полезных ископаемых в промышленных целях, а также для государственного регулирования отношений в сфере недропользования и обеспечения рационального использования природного потенциала страны в целом. Экономическую оценку месторождений полезных ископаемых с учетом их множества жизнеобеспечивающих функций можно рассматривать и как изначальную, так и как завершающую модель экономического изучения всего природоохранного процесса [4, с. 23].

В сложившихся экономических условиях роль природно-ресурсного потенциала определяет национальные интересы Республики Беларусь, что требует новых подходов к устойчивому развитию экономики. Одним из основополагающих приоритетов энергетической безопасности является замена импортируемого углеводородного топлива и комплексное вовлечение в топливно-энергетический баланс страны местных топливных ресурсов, возобновляемых и альтернативных источников энергии, используемых в промышленности как топливо и энергохимическое сырье [5, с. 81].

Основными источниками сырья для промышленности традиционно на сегодня считают природный газ и нефть, имеющие львиную долю в составе топливно-энергетического баланса (ТЭБ) стран СНГ. Нельзя не согласиться с тем, что для устойчивого развития любого государства сырьевая база промышленности должна обладать высокой гибкостью. Лучше полагаться на применение различных взаимозаменяемых видов органического сырья. В частности, в Республике Беларусь имеются потенциальные пока неразрабатываемые горючие сланцы. Для ряда регионов их использование может быть целесообразно экономически сейчас. Если принять во внимание, что в данный момент наметился тренд к повышению цен на энергоносители, имеет смысл более тщательно провести анализ перспектив использования данного вида сырья и вовлечения его в народнохозяйственный комплекс с учетом имеющихся современных тенденций и технологий [4].

Пользователям и производителям топливно-энергетических ресурсов, осуществляющим мероприятия по энергосбережению (в том числе путем производства и потребления продукции с лучшими показателями против предусмотренных государственными стандартами), могут предоставляться льготы в виде субсидий, дотаций в порядке, установленном законодательством Республики Беларусь.

К примеру, в целях стимулирования рационального использования топливно-энергетических ресурсов осуществляется установление сезонных цен на природный газ и сезонных тарифов на электрическую и тепловую энергию, дифференцированных по времени суток и дням недели тарифов на эти виды энергии, а также других форм стимулирования в порядке, определяемом Правительством Республики Беларусь [6].

Энергетика Республики Беларусь всегда базировалась на импортируемом высококачественном топливе. Из местных видов топлива (МВТ) в энергетический баланс страны по сути вовлечены только нефть, торф и дрова. Нельзя не отметить тот факт, что в структуре МВТ Беларуси более 50 % приходится на долю горючих сланцев. Горючие сланцы по своим качественным характеристикам принято считать недостаточно эффективным топливом по причине высокой зольности (> 80 %) и низкой теплотворной способности [7].

Исходя из табл. 1, можно сделать вывод, что основу топливной и энергетической промышленности Беларуси составляет нефть (импортируемая в основном из Российской Федерации). Из местного сырья следует традиционно отметить залежи торфа, а бурый уголь и горючий сланец не вовлече-

ны в народнохозяйственный комплекс Беларуси. В современных геополитических условиях, возникающих перекосах по причине заключения между странами ОПЕК в конце 2016 г. соглашения по сокращению объемов добычи нефти, следует снова пересмотреть сценарии развития некоторых альтернативных вариантов добычи и использования группы полезных ископаемых, имеющих в своем составе полезную энергию.

Из табл. 2 следует сделать вывод, что по импорту сырой нефти определилась четкая динамика. Беларусь в течение последних пяти лет закупает в среднем около 20,5 млн т нефти как для собственных нужд, так и для переработки и дальнейшей продажи готового продукта другим странам. Что касается импорта готовых нефтепродуктов (табл. 3), следует отметить, что такой тенденции не отмечается. Это объясняется повышением цены на нефть, спадом в экономике России и общемировым повышением цен на нефть и нефтепродукты. Природный газ Беларусь импортирует на протяжении последних пяти лет в объеме чуть более 20 млрд м³ с небольшим ее падением в 2015 г. на уровне 18,8 млрд м³.

Что касается экспорта сырой нефти, то с 2013 г. отмечается его падение на 1,6 %. Та же динамика прослеживается и по статье экспорта готовых нефтепродуктов. В 2013 г. Российская Федерация пережила кризисную ситуацию на общемировом рынке нефти, что сказалось на показателях Беларуси. Россия – наш важнейший внешнеторговый партнер [8].

Таблица 1. Топливно-энергетические ресурсы Республики Беларусь

Table 1. Fuel and energy resources of Republic of Belarus

Полезное ископаемое	Количество месторождений		Балансовые запасы, млн т
	разведанных	разрабатываемых	
Нефть	78	54	55,6
Уголь бурый	4	–	144,9
Горючие сланцы	2	–	422,3
Торф	72	50	160,6

Примечание. Источник – Министерство природы и охраны окружающей среды Республики Беларусь [9].

Таблица 2. Импорт нефти сырой, нефтепродуктов и природного газа Республики Беларусь как основных видов продукции

Table 2. Import of oil crude, oil products and natural gas of Republic of Belarus as main types of production

Полезное ископаемое	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Нефть сырая, млн т	14,7	20,4	21,6	21,1	22,5	22,9
Нефтепродукты, тыс. т	1577,7	5731,8	8474,2	124,9	420,5	1652,7
Природный газ, млрд м ³	21,6	20,0	20,3	20,3	20,1	18,8

Примечание. Источник – Национальный статистический комитет Республики Беларусь [10].

Таблица 3. Экспорт нефти сырой, нефтепродуктов и природного газа Республики Беларусь как основных видов продукции

Table 3. Export of oil crude, oil products and natural gas of Republic of Belarus as main types of production

Полезное ископаемое	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.
Нефть сырая, тыс. т	–	1675,5	1645,1	1619,2	1617,4	1615,4
Нефтепродукты, млн т	11,2	15,7	17,5	13,6	13,8	16,9
Сжиженный газ, тыс. т.	339,4	319,0	424,1	536,0	558,6	578,0

Примечание. Источник – Национальный статистический комитет Республики Беларусь [10].

Заключение. Основные направления и принципы экологической политики определены Конституцией Республики Беларусь и соответствующими законодательными актами в этой области. Создана определенная система органов государственного управления природопользованием и охраной окружающей среды. В стране сложилась система перспективного и краткосрочного планирования, реализация мероприятий по охране окружающей среды, совершенствуются нормативная и правовая база и экономический механизм природопользования. Республика Беларусь осуществляет разностороннее международное сотрудничество по вопросам окружающей среды и природопользования, участвует в работе межправительственных организаций и органов, выполняет свои обязательства по международным конвенциям, протоколам и соглашениям [11, с. 522].

В системе Национальной сертификации Республики Беларусь создана и действует подсистема экологической сертификации. Осуществляется сертификация систем управления охраной окружающей среды на предприятиях страны на соответствие международным стандартам ИСО серии 14000, что является предпосылкой для вхождения Беларуси в ВТО, а также важным шагом в расширении зарубежных рынков сбыта отечественной продукции.

Проводимые в стране меры по сохранению и улучшению окружающей среды создают предпосылки для реализации прав нынешних и будущих поколений на благоприятную окружающую среду и экологически безопасные условия проживания. Вместе с тем имеются серьезные экологические проблемы, вызванные внутренними и внешними факторами. Недостаточно действенным остается экономический механизм природопользования и охраны окружающей среды [12].

Список использованных источников

1. Минерально-сырьевое обеспечение Республики Беларусь. Состояние, проблемы, пути решения / П. Г. Никитенко [и др.] / под. общ. ред. П. Г. Никитенко. – Минск : Беларуская наука, 2012. – 211 с.
2. Потапов, А. В. Основные особенности ведения учета по МСФО на предприятиях добывающей отрасли [Электронный ресурс] / А. В. Потапов // Корпоративная финансовая отчетность: международные стандарты – 2007. – Режим доступа: <http://www.finotchet.ru/>. – Дата доступа: 28.04.2017.
3. Булавко, В. Г. Минерально-сырьевая безопасность / В. Г. Булавко, Г. Т. Кулаков, В. М. Цилибина // Экономическая безопасность: теория, методология, практика / В. Г. Булавко [и др.] ; под науч. ред. П. Г. Никитенко, В. Г. Булавко ; Нац. акад. наук Беларусь, Ин-т экономики. – Минск : Право и экономика, 2009. – С. 279–295.
4. Унукович, А. В. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых Беларусь / А. В. Унукович, Я. И. Аношко ; науч. ред. А. К. Карабанов. – Минск : Беларуская наука, 2012. – 455 с.
5. Нагорнов, В. Н. Критерии оценки экономической эффективности использования горючих сланцев / В. Н. Нагорнов, А. А. Сачков – Минск, 2012. – С. 80–83.
6. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 29 февраля 2012 г. № 194 об утверждении Государственной программы развития белорусской энергетической системы на период до 2016 года ; зарегистрировано в Национальном реестре правовых актов Республики Беларусь 13 марта 2012 г. N 5/35381.
7. Kovhuto, A. M. Slantsy est', gaza net / A. M. Kovhuto // Respublika. – 2014. – 24 июня.
8. Цедрик, А. В. Минерально-сырьевая безопасность как элемент национальной стратегии устойчивого развития / А. В. Цедрик // Социально-экономическая география в XXI веке: региональное развитие (к 125-летию со дня рождения А. А. Смолича) : реф. Межвуз. респ. семинара, Минск, 17–18 нояб. 2016 г. / БГУ, Географ. фак. ; редкол.: Е. А. Антипова (отв. ред.), Л. О. Жигальская (техн. ред.) [и др.]. – Минск : Изд. центр БГУ, 2016. – С. 166–168.
9. Официальный сайт Министерства природы и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.minpriroda.gov.by/minsyrbaza-ru/>. – Дата доступа: 27.04.2017.
10. Официальный сайт Национального статистического комитета Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>. – Дата доступа: 27.04.2017.
11. Социально-экономическая модель: становление и развитие. Теория, методология, практика / В. Г. Гусаков [и др.] ; под общ. ред. В. Г. Гусакова. – Минск, 2017.
12. Доклад Министерства природы и охраны окружающей среды Республики Беларусь «Рациональное использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды для будущих поколений» // Консультант Плюс: Беларусь. Технология 3000 / ООО «ЮрСпектр», Наци. Центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2016. – 29 с.

References

1. Nikitenko P. G. *Mineral'no-syrievoe obespechenie Respubliki Belarus. Sostoyanie, problemy i puti resheniya* ; pod obshchei redaktsiei P. G. Nikitenko [Mineral and raw providing Republic of Belarus. State, problems, solutions]. Minsk, 2012, 211 p.
2. Potapov A. V. *Osnovnye osobennosti vedeniya ucheta po MCFO na predpriyatiyah dobyvayushchei otrassli. Korporativnaya finansovaya otchetnost': mezhdunarodnye standarty* [The main features of conducting account according to IFRS at the enterprises of the extracting branch. Corporate financial statements: international standards]. Available at: <http://www.finotchet.ru/> (Accessed 28 April 2017).
3. Bulavko V. G., Kulakov G. T., Tsilibina V. M. *Mineral'no-syrievaya bezopasnost'. Ekonomicheskaya bezopasnost': teoriya, metodologiya, praktika* [Mineral and raw safety. Economic security: theory, methodology, practice]. Minsk, National Academy of Sciences of Belarus, Institute of Economics, 2009, pp. 279–295.
4. Unukovich A. V., Anoshko Ya. I. *Geologo-ekonomicheskaya otsenka mestorozhdeniy poleznyh iskopаемых Belarusi* [Geological and economic assessment of mineral deposits of Belarus]. Minsk, 2012, 455 p.
5. Nagornov V. N., Sachkov A. A. *Kriterii otsenki ekonomicheskoi effektivnosti ispol'zovaniya goryuchih slantsev* [Criteria for evaluation of economic efficiency of use of combustible slates]. Minsk, 2012, pp. 80–83.
6. Postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus ot 29.02.2012 nomer 194 ob utverzhdenii Gosudarstvennoi programmy razvitiya belorusskoi energeticheskoi sistemy na period do 2016 goda [Resolution of Council of ministers of Republic of Belarus of February 29, 2012. no. 194 on the approval of the State program of development of the Belarusian power system until 2016].
7. Kovhuto A. M. *Slantsy est', gaza net* [There are slates, there is no gas]. Minsk, newspaper “Respublika”, 2014, 24 June.

8. Tsedrik A. V. *Mineral'no-syrievaya bezopasnost` kak element natsional'noi strategii ustoichivogo razvitiya. Mezhvusovskiy respublikanskiy seminar "Sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya v XXI veke: regional'noe razvitiye"* [Proc. interuniversity republican seminar "Mineral and raw safety as element of national strategy of sustainable development. Social and economic geography in the 21st century: regional development"]. Minsk, Publishing Center of BSU, 2016, pp. 166–168.
9. Official site of the Ministry of the nature and environmental protection of the Republic of Belarus. Available at: <http://www.minpriroda.gov.by/ru/minsyrbaza-ru/> (Accessed 27 April 2017).
10. Official site of National statistical committee of the Republic of Belarus. Available at: <http://www.belstat.gov.by> (Accessed 27 April 2017).
11. Gusakov V. G. *Sotsial'no-ekonomicheskaya model': stanovlenie i razvitiye. Teoriya, metodologiya, praktika* [Social and economic model: formation and development. Theory, methodology, practice]. Minsk, 2017.
12. Doklad Ministerstva prirody i ohrany okruzhayushchey sredy RB «Ratsional'noe ispol'zovanie prirody i sohranenie okruzhayushchey sredy dlya budushchih pokoleniy» [Report of the Ministry of the nature and environmental protection of Republic of Belarus "Rational use of natural resources and preservation of the environment for future generations"]. Belarus, Minsk, 2016, 29 p.

Информация об авторе

Цедрик Александр Вячеславович – мл. науч. сотрудник, аспирант, Институт экономики НАН Беларусь (ул. Сурганова 1, корп. 2, 220072, Минск, Беларусь). E-mail: aleksandr.cedrik.90@mail.ru

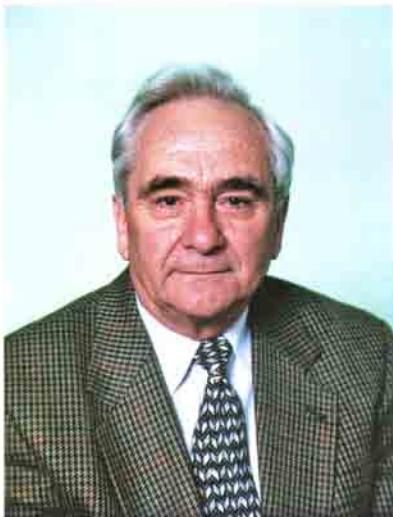
Information about the author

Aleksandr V. Tsedrik – Junior Researcher, Graduate Student, Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus (1, Surganova Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: aleksandr.cedrik.90@mail.ru

ХРОНИКА
CHRONICS

ЛИДЕР РЕГИОНАЛЬНОЙ И НЕФТЯНОЙ ГЕОЛОГИИ
(К 85-летию Р. Е. Айзберга)

LEADER OF REGIONAL AND OIL GEOLOGY
(To the 85th anniversary R. E. Aizberg)



16 июня 2018 года исполнилось 85 лет члену-корреспонденту, доктору геолого-минералогических наук, профессору, главному научному сотруднику Института природопользования НАН Беларуси Ромме Ефимовичу Айзбергу.

Ромма Ефимович родился г. Артемовске Донецкой области (Украина). В 1956 г. окончил геологоразведочный факультет Новочеркасского политехнического института, после чего работал в Туркменистане. В 1965 г. после открытия Речицкого нефтяного месторождения он приехал в Беларусь и стал работать в БелНИГРИ. Так начался этап его профессиональной деятельности, связанный с изучением тектоники, региональной и нефтяной геологии территории Беларуси.

В этот период ученый участвовал в разработке нового подхода в изучении тектоники Припятского прогиба, основанного на представлениях о блоковом строении этой структуры. Тектоническая схема стала базой для нефтегеологического районирования Припятского прогиба, была положена в основу проектирования нефтепоисковых работ и до сих пор не утратила актуальности.

За создание Тектонической карты Беларуси и смежных территорий масштаба 1:500 000 и монографии «Тектоника Белоруссии» в 1978 г. Р. Е. Айзберг вместе с группой ученых и геологов-практиков стал лауреатом Государственной премии БССР. В этой работе обобщен огромный объем геолого-геофизического материала, который накопили геологи Беларуси, Прибалтийских республик и западных областей России.

В 1980–1984 гг. Ромма Ефимович находился в служебной командировке в Германской Демократической Республике, где в должности главного специалиста-консультанта Центрального геологического института (г. Берлин) изучал проблемы тектоники нефтегазоносных комплексов Центральной Европы.

В 1990 г. Р. Е. Айзберг перешел на работу в Академию наук БССР, став главным научным сотрудником Института геохимии и геофизики. За это время основным направлением научных исследований ученого стало изучение проблем геодинамики. Со второй половины 1990-х годов заметное место в исследованиях Роммы Ефимовича занимали проблемы сейсмотектоники и неогеодинамики. Вместе с коллегами Р. Е. Айзберг опубликовал ряд статей, посвященных сейсмотектоническому и неотектоническому районированию запада Восточно-Европейской платформы и Центральной Европы, обоснованию выделения зон возможных очагов землетрясений.

Важная часть научных исследований Роммы Ефимовича связана с изучением проблем нефтегазоносности: им разработаны карты нефтегеологического районирования Припятского палеорифтового бассейна (1968, 1972, 1988) и карта нефтегеологического районирования Беларуси (1999), которые стали основой планирования нефтепоисковых работ в нашей стране.

Ромма Ефимович Айзберг – участник исследований по нескольким крупным международным научным проектам: «Евробридж», «Неогеодинамика депрессии Балтийского моря и сопредельных областей», «Нефтегазоносность верхнепротерозойских и палеозойских комплексов Беларуси и Сибири» и др. Научный итог этих работ – новая модель строения литосферы территории Беларуси, новая неотектоническая карта Центральной Европы, оценка генетических связей неотектонических структур с глубинным строением региона, выявление условий нефтегазообразования и нефтегазонакопления в разнотипных платформенных структурах.

С 2008 г. Ромма Ефимович продолжил проводить исследования в области региональной тектоники и нефтегазовой геологии в Институте природопользования НАН Беларуси. В 2016–2018 гг. под

руководством Р. Айзберга выполняется проект по исследованию и оценке потенциала сланцевых нетрадиционных источников углеводородного сырья в недрах Беларуси, а также разработаны научная концепция и методология изучения нетрадиционных источников углеводородного сырья применительно к недрам Припятского нефтегазоносного бассейна, а также Подлясско-Брестского и Оршанского нефтеперспективных осадочно-породных бассейнов.

Научные заслуги Роммы Ефимовича отмечены Почетной грамотой Совета Министров Республики Беларусь. Вместе с группой белорусских и сибирских ученых Р. Е. Айзберг был удостоен премии имени академика В. А. Коптюга Сибирского отделения РАН и НАН Беларуси (2004), а за цикл работ «Разломы и линеаменты земной коры Беларуси: теоретические и прикладные аспекты» – премии НАН Беларуси (2008).

Многих людей привлекают присущие Ромме Ефимовичу качества, такие как увлеченность геологией, высокая культура, энциклопедические знания, доброжелательность, готовность прийти на помощь. Р. Е. Айзберг по праву является одним из лидеров геологической науки Беларуси, пользуется широкой известностью и заслуженным авторитетом как в нашей стране, так и далеко за ее пределами. Коллеги поздравляют Ромму Ефимовича Айзберга с юбилеем, желают ему успехов, крепкого здоровья и долголетия!

Р. Г. Гарецкий, А. В. Матвеев, А. К. Карабанов, Я. Г. Грибик

ИССЛЕДОВАТЕЛЬ НЕДР ЗЕМЛИ БЕЛОРУССКОЙ (К 80-летию А. В. Матвеева)

RESEARCHER OF THE EARTH DEPTHS IN BELARUS *(To the 80-th anniversary A. V. Matveyev)*



23 мая 2018 года выдающемуся белорусскому геологу, академику НАН Беларуси, доктору геолого-минералогических наук, профессору, заслуженному деятелю науки Республики Беларусь, лауреату Государственной премии БССР, главному научному сотруднику Института природопользования НАН Беларуси Алексею Васильевичу Матвееву исполнилось 80 лет.

Научная деятельность А. В. Матвеева связана с четвертичной геологией и геоморфологией. После окончания географического факультета БГУ в 1960 г. он был направлен на работу в Белгипроводхоз Министерства мелиорации и водного хозяйства БССР. Первый опыт Алексея Васильевича в исследовании четвертичных отложений связан с многочисленными полевыми работами во время проведения инженерно-геологической съемки. Обширный багаж геологических знаний, приобретенный А. В. Матвеевым в этот период, а также годы учебы в очной аспирантуре под руководством М. М. Цапенко, легли в основу его кандидатской диссертации по литологии четвертичных отложений, которая была успешно защищена в 1966 г.

После защиты диссертации Алексей Васильевич работал в Институте геологических наук, занимаясь изучением ледниковых образований и палеогеографическими реконструкциями. В 1968 г. вместе с коллективом белорусских исследователей он участвовал в создании стратиграфической схемы расчленения четвертичных отложений, утвержденной Межведомственным региональным комитетом в качестве унифицированной. Учитывая высокую организованность и целеустремленность, в 1969 г. А. В. Матвеев стал Ученым секретарем Института геологических наук (впоследствии – БелНИГРИ), а затем заведующим сектором четвертичной геологии. За успехи в научной деятельности и трудолюбие в 1970 г. Алексей Васильевич был награжден медалью «За доблестный труд».

Результаты исследований ледниковых образований, выявление их роли в формировании чехла антропогеновых отложений были опубликованы в монографиях «Ледниковые отложения Белоруссии» (1971) и «Геология антропогена Белоруссии» (1973). Методические разработки и полученные материалы по ледниковым отложениям Беларуси (ледниковый литогенез, классификации ледниковых отложений, постседиментационная трансформации) позволили А. В. Матвееву в 1975 г. защитить докторскую диссертацию, а ее основные положения опубликовать в монографии «Ледниковая формация антропогена Белоруссии» (1976).

В конце 1970-х годов основные научные интересы Алексея Васильевича стали сосредоточены на геоморфологии и неотектонике. Многочисленные экспедиционные исследования территории Беларуси, а также фундаментальные знания закономерностей формирования четвертичных толщ он использовал для анализа происхождения современных форм рельефа и построения серий геоморфологических, структурно-геоморфологических и неотектонических карт по отдельным районам Беларуси и территории нашей республики в целом. За высокие достижения в научной деятельности А. В. Матвеев в 1977 г. был награжден Грамотой Верховного Совета БССР.

В 1978 г. в Институте геохимии и геофизики Академии наук БССР под руководством Алексея Васильевича Матвеева была создана лаборатория динамики ландшафтов, преобразованная позднее в лабораторию современных геологических процессов. Расширились творческие связи и научные интересы ученого: большое внимание он стал уделять вопросам современной геодинамики и экологической геологии, прогнозированию поиска полезных ископаемых. В результате творческого сотрудничества с коллективом специалистов А. В. Матвеев издал монографии «Неотектоника территории Припятского прогиба» (1980), «Рельеф Белорусского Полесья» (1982), «Неотектоника и полезные ископаемые Белорусского Полесья» (1984), «Рельеф Белоруссии» (1988), «История формирования рельефа Белоруссии» (1990). Эти книги в настоящее время являются основными пособиями для изучения истории формирования рельефа нашей страны. Кроме этого, в 1980-х годах научные интересы Алексея Васильевича были сконцентрированы на изучении экзогенных, эндогенных и техногенных

процессов, исследованиях кольцевых и линейных структур. В этом аспекте им была разработана методика и построены карты национальной организации территории Беларуси. За разработку теоретических основ четвертичной геологии и внедрения их в практику геологоразведочных работ в 1986 г. А. В. Матвеев вместе с группой белорусских геологов был удостоен Государственной премии БССР в области науки и техники.

В начале 1990-х годов Алексей Васильевич принял участие в разработке «Программы ускорения геологоразведочных работ по развитию минерально-сырьевой базы Республики Беларусь на 1993–1995 гг. и до 2000 г.», руководил рядом проектов этой программы, а результаты исследований внедрял в производственные организации.

Широкий диапазон научных знаний в области геологии А. В. Матвеев применял в работе со студентами географического факультета БГУ, а также с аспирантами и соискателями, которые успешно защитили кандидатские диссертации. В этот период в соавторстве с ним были изданы пособия для студентов и учащихся средней школы: «Геоморфология и математика» (1992), «Пра рэльеф Беларусі» (1994). В 1990 г. Алексею Васильевичу Матвееву было присвоено ученое звание профессора, а в 1991 г. он был избран членом-корреспондентом НАН Беларуси.

В 1993–1998 гг. А. В. Матвеев являлся директором Института геологических наук НАН Беларуси, успешно сочетая научную, научно-организационную и педагогическую деятельность. Результаты его многогранных научных исследований были высоко оценены: в 1994 г. он был избран академиком НАН Беларуси, в том же году – членом Международной академии наук Евразии, в 1995 г. – членом Нью-Йоркской академии. В 1998 г. А. В. Матвееву было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Республики Беларусь».

В течение последних пятнадцати лет Алексей Васильевич является председателем комиссии по изучению четвертичного периода и геоморфологии, руководителем и исполнителем целого ряда проектов по линии Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований. В этот период под его руководством были осуществлены такие издания, как «Геология Беларуси» (2001), «Линеаменты территории Беларуси» (2001), «Палеогеография кайнозоя Беларуси» (2002), «Основы геологии Беларуси» (2004). Составлены и включены в Национальный атлас Беларуси «Геоморфологическая карта», «Карта четвертичных отложений», «Карта современных геологических процессов» (2002) и др.

В настоящее время признанный лидер белорусской школы геологов-четвертичников А. В. Матвеев работает главным научным сотрудником в Институте природопользования НАН Беларуси, проводит фундаментальные исследования по Государственной программе научных исследований «Комплексное использование природных ресурсов и обеспечение экологической безопасности Республики Беларусь на 2016–2020 гг. В своих исследованиях Алексей Васильевич изучает геохимические особенности четвертичных отложений и основы инженерной геологии, что отражено в соавторских монографиях: «Геохимия четвертичных отложений Беларуси» (2013); «Радон в геологических комплексах Беларуси» (2017); «Инженерная геодинамика Беларуси». Т. 2 (2017); «Инженерная геология Беларуси». Т. 3 (2018).

А. В. Матвеев является автором более 430 опубликованных работ, в том числе 28 монографий и книг.

Алексею Васильевичу присущи высокая эрудиция, организованность, целеустремленность, принципиальность, трудолюбие. Интересы и глубокие знания ученого в области геологии сочетаются в нем с увлечениями литературой, поэзией, живописью. А. В. Матвеев – отзывчивый и искренний человек, внимательный руководитель, всегда готовый оказать поддержку и помочь. Коллеги и ученики искренне поздравляют Алексея Васильевича Матвеева с юбилеем и желают ему крепкого здоровья для реализации творческих планов и новых идей, бодрости духа и оптимизма на долгие годы!

*В. П. Зерницкая, Р. Е. Айзберг, Р. Г. Гарецкий,
А. К. Карабанов, Л. А. Нечипоренко*

Научное издание
Scientific publication

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
NATURE MANAGEMENT

№ 1, 2018

Редактор Н. Т. Гавриленко
Editor N. T. Gavrilenko

Компьютерная верстка Т. Н. Козловская
Computer imposition T. N. Kozlovskaya

Переводчик М. Ю. Артюшевская
Translator M. U. Artushevskaya

Подписано в печать 27.06.18. *Signed into print 27.06.2018.*
Формат 60×90/8. Бумага офсетная. *60×90/8 format. Office paper.*
Гарнитура Ариал. Печать цифровая. *Arial garniture. Digital print.*
Усл. печ. л. 30,69. *Conditional printed sheets 30.69.*
Уч.-изд. л. 28. *Conditional edited sheets 28.*
Тираж 200 экз. *Circulation 150 copies.*
Заказ № 701 *Order No. 701*

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*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Природопользование» просит авторов руководствоваться приведенными ниже правилами.

I. Статьи о результатах работ, проведенных в научных учреждениях, должны иметь разрешение на опубликование (сопроводительное письмо ректората или дирекции соответствующего института либо выписку из протокола заседания ученого совета, отдела или кафедры, а также акт экспертизы).

II. Статья предоставляется в редакцию на белорусском или русском языках; шрифт – Arial, кегль – 10 (в том числе в формулах); межстрочный интервал – одинарный. Занумерованные формулы выключаются в отдельную строку. В тексте не допускаются рукописные вставки и вклейки. Статья должна быть подписана всеми авторами.

III. Статья должна иметь следующую структуру:

1. Индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК);

инициалы и фамилии авторов;

название статьи;

полное наименование учреждений, где работают авторы, с указанием города и страны, адрес электронной почты каждого автора.

2. Аннотация (авторское резюме) объемом 150–250 слов должна кратко представлять результаты работы и быть понятной, в том числе и в отрыве от основного текста статьи; должна быть информативной, хорошо структурированной (один из вариантов написания аннотации – краткое повторение структуры статьи, включающее введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение или выводы).

3. Ключевые слова – набор слов, отражающих содержание текста в терминах объекта, научной отрасли и методов исследования; рекомендуемое количество ключевых слов 5–10.

4. Затем метатекстовые данные (все то, что предшествует основному тексту статьи) приводятся на английском языке, причем аннотация должна быть оригинальной (т. е. не являться дословным переводом русскоязычной аннотации). Если статья англоязычная – вышеуказанные данные приводятся на русском (белорусском) языке.

5. Основной текст статьи должен составлять 10–16 с. (т. е. около 40 тыс. знаков); в этот объем также входят таблицы и рисунки, число которых не должно превышать 10. Изложенный материал должен быть четко структурированным: введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение (выводы). В русско- и белорусскоязычных статьях рекомендуется делать подрисуночные подписи и надписи на самих иллюстрациях на двух языках – русском (белорусском) и английском.

6. Список использованной литературы (не более 40 ссылок) оформляется в соответствии с требованиями Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь (ГОСТ 7.1-2003). Цитированная литература приводится общим списком по мере упоминания, ссылки в тексте даются порядковым номером в квадратных скобках (напр., [1]); ссылки на неопубликованные работы не допускаются).

7. Затем приводится список цитированных источников в романском алфавите («References») со следующей структурой: авторы (транслитерация), название статьи в транслитерированном варианте [перевод названия статьи на английский язык в квадратных скобках], название русскоязычного источника (транслитерация) [перевод названия источника на английский язык – парафраз (для журналов можно не делать)], выходные данные с обозначениями на английском языке.

7. Если присутствует информация о финансировании (поддержке грантами проектов и т. п.), ее следует

давать на русском (белорусском) и английском языках под заголовками «Благодарности» («Падзяка»), «Acknowledgements».

IV. Для подготовки метаданных (так называемый информационный лист) на отдельной странице следует указать на русском и английском языках для каждого автора: фамилию, имя и отчество (полностью), звание, должность, место работы с указанием адреса, контактную информацию (e-mail, телефоны).

V. Электронный вариант статьи предоставляется на диске, флэшке или присыпается по электронной почте в редакцию журнала – eco@ecology.basnet.by. Текст должен быть набран в Word под Windows, формулы – в редакторе MathType.

Правила оформления статьи:

параметры страницы – формат А4;
поля – верхнее и нижнее по 2,5 см, левое и правое по 2 см (**страницы не нумеровать!**);

текст набирается шрифтом Arial, кегль 10;
межстрочный интервал – одинарный;
абзацный отступ – 10 мм.

Собственным редактором формул версий Microsoft Office 2007 и выше пользоваться нельзя, так как в редакционно-издательском процессе он не поддерживается. Вставку символов выполнять через меню «Вставка\Символ». Выключку вверх и вниз (С², С₄) выполнять через меню «Формат\Шрифт\Верхний индекс», «Формат\Шрифт\Нижний индекс». Латинские буквы необходимо набирать курсивом, греческие – прямо (для набора греческих символов следует пользоваться гарнитурой Symbol). Обозначения математических функций (lim, sup, ln, sin, Re, Im и т. п.), символы химических элементов (N, C1) также набираются прямым шрифтом.

VI. Черно-белые и цветные рисунки вставляются в текст статьи (Word) после первого упоминания о них, а также даются в виде отдельных файлов в формате tif (600 точек на дюйм). Фотографии, помещаемые в статье, должны иметь контрастное черно-белое или цветное изображение. Желательно представлять иллюстрации в формате оригинала (Corel, диаграммы в Excel и т. д.), т. е. в той программе, в которой они выполнены. Текст на рисунках набирается основной гарнитурой, причем начертание символов (греческое, латинское) должно соответствовать их начертанию в тексте. Размер кегля соизмерим с размером рисунка (желательно 9 пунктов). На обороте рисунков (если они даются отдельно) указываются фамилии авторов, название статьи. Фотографии представляются в виде файлов (tif, jpg, png, eps) и в распечатанном виде. **Таблицы** должны иметь названия на русском и английском языках и располагаться непосредственно по тексту. Не рекомендуется выполнять горизонтальные таблицы. Следует **различать дефис «-» и тире «—»**. От текста тире отделяется единичными пробелами, исключение тире между цифрами и числами.

VII. Поступившая в редакцию статья направляется на рецензию, затем визируется членом редколлегии. Основным критерием целесообразности публикации является новизна и информативность статьи. Если по рекомендации рецензента статья возвращается автору на доработку, то переработанная рукопись вновь рассматривается редколлегией. Статьи не по профилю журнала возвращаются авторам после заключения редколлегии.

Материалы для публикации следует направлять по адресу: ул. Ф. Скорины, 10, к. 202, редакция журнала «Природопользование», 220114, г. Минск, Республика Беларусь, либо по электронной почте: eco@ecology.basnet.by. Тел. для справок: +375 17 268 84 55.