

ISSN 2079-3928



Природо- пользование



2
2019

Государственное научное учреждение
«Институт природопользования
Национальной академии наук Беларусь»

Природопользование

2019. № 2

Основан в 1996 г. как сборник научных трудов.

В 2018 г. преобразован в журнал.

Выходит 2 раза в год.

*Входит в Перечень научных изданий Республики Беларусь
для опубликования результатов диссертационных исследований.
Включён в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)*

Главный редактор

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

Редакционная коллегия

Хомич В. С. – доктор географических наук (заместитель главного редактора)

Томсон А. Э. – кандидат химических наук (заместитель главного редактора)

Высоченко 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, профессор

Камышенко Г. А. – кандидат технических наук

Курзо Б. В. – доктор технических наук

Кухарчик Т. И. – доктор географических наук

Лиштван И. И. – академик, доктор технических наук, профессор

Логинов В. Ф. – академик, доктор географических наук, профессор

Матвеев А. В. – академик, доктор геолого-минералогических наук, профессор

Струк М. И. – кандидат географических наук

Международный редакционный совет

Балтрунас В. – доктор наук (геология), профессор (Литва)

Гнеушев В. А. – кандидат технических наук (Украина)

Гожик П. Ф. – академик НАН Украины, доктор геолого-минералогических наук,
профессор (Украина)

Зилитинкевич С. С. – доктор физико-математических наук, профессор (Финляндия)

Зюзин Б. Ф. – доктор технических наук, профессор (Россия)

Клавинс М. – доктор наук (химия), профессор (Латвия)

Маркс Л. – доктор наук (геология), профессор (Польша)

Руденко Л. Г. – академик НАН Украины, доктор географических наук, профессор (Украина)

Снытко В. А. – член-корреспондент РАН, доктор географических наук, профессор (Россия)

Тишков А. А. – член-корреспондент РАН, доктор географических наук, профессор (Россия)

Черепанский М. М. – доктор геолого-минералогических наук, профессор (Россия)

Адрес

Ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск

Тел. +375 17 215 26 32, факс +375 17 215 24 13

nature@ecology.basnet.by

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

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

Nature Management

2019. № 2

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

The journal is included in the List of Journals for publication of the results of Dissertation Researchers in the Republic of Belarus and the database of Russian Science Citation Index (RSCI)

Editor-in-Chief

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

Editorial Board

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

International Editorial Council

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

Address

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

Phone: +375 17 215 26 32, fax: +375 17 215 24 13

nature@ecology.basnet.by

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

СОДЕРЖАНИЕ CONTENTS

Гарецкий Р. Г., Матвеев А. В., Айзберг Р. Е., Кудельский А. В., Грибик Я. Г., Камышенко Г. А., Хомич В. С. <i>Garetsky R. G., Matveev A. V., Aizberg R. E., Kudelsky A. V., Gribik Y. G., Kamyshenka H. A., Khomich V. S.</i>	Роль академика А. К. Карабанова в развитии наук о Земле 7 <i>The role of academician A. K. Karabanov in the development of Earth sciences</i>
---	--

ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

Логинов В. Ф., Лысенко С. А., Бондаренко Ю. А., Бровка Ю. А. Loginov V. F., Lysenko S. A., Bondarenko Yu. A., Brovka Yu. A.	Глобальные и региональные изменения климата и их связь с 20 биопродуктивностью наземных экосистем <i>Global and regional climate changes and their relations with terrestrial ecosystems bioproduction</i>
Лысенко С. А., Логинов В. Ф., Мельник В. И. Lysenko S. A., Loginov V. F., Melnik V. I.	Влияние местного испарения на количество осадков, выпадающих 32 на территории Беларуси в вегетационный период <i>Influence local evaporation on the amount of precipitation on the territory of Belarus of the vegetation period</i>
Мельник В. И., Буяков И. В., Чернышев В. Д. Melnik V. I., Buyakov I. V., Chernyshev V. D.	Изменения количества и вида атмосферных осадков в холодный 44 период на территории Беларуси в условиях современного потепления климата <i>Changes in the amount and type of precipitation in the cold period in the territory of Belarus under conditions of modern climate warming</i>
Табальчук Т. Г. Tabalchuk T. G.	Изменение суточной температуры воздуха на территории Беларуси 52 в период с 1955 по 2015 г. <i>Daily air temperature change in Belarus during the period 1955–2015</i>
Кухарик Е. А. Kukharik Y. A.	Современные экзогенные рельефообразующие процессы на терри- 62 тории юго-западной Беларуси <i>Modern exogenous relief-forming processes in the territory of south- western Belarus</i>
Кадацкая О. В., Овчарова Е. П., Санец Е. В. Kadatskaya O. V., Aucharova A. P., Sanets E. V.	Доступ к питьевой воде как фактор устойчивого развития Беларуси 74 <i>Access to drinking water as a factor of sustainable development of Belarus</i>
Басалай Е. Н. Basalai E. N.	Оценка влияния городских очистных сооружений Брестской области 86 на загрязнение поверхностных вод <i>The assessment of the influence of the urban wastewater treatment plants of Brest region on surface water pollution</i>
Гапанович Е. В., Савич-Шемет О. Г., Анцух Ю. П. Gapanovich E. V., Savich-Shemet O. G., Antsukh Yu. P.	Прогноз загрязнения подземных вод на участке складирования 96 осадков поверхностных сточных вод г. Минска <i>The forecast of ground waters pollution on the area of the storage of the sediments of the sedimental sewage of Minsk city</i>
Романкевич Ю. А. Ramankevich J. A.	Методические подходы к созданию единой классификации почв 108 урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации <i>Methodological approaches to creating a unified classification of soils in urban areas with varying degrees of anthropogenic transformation</i>
Романкевич Ю. А. Ramankevich J. A.	Единая классификация почв урбанизированных территорий с разной 125 степенью антропогенной трансформации <i>Unified classification of soils in urban areas with varying degrees of anthropogenic transformation</i>

Коляда В. В.	Оценки использования сельскохозяйственных земель административных районов Беларуси по эффективности возделывания зерновых и зернобобовых культур	142
---------------------	--	-----

Kalyada V. V.	<i>Estimates of the agricultural land use in the administrative districts of Belarus by the efficiency of grains and legumes cultivation</i>	
----------------------	--	--

Кравчук Л. А., Яновский А. А., Баженова Н. М., Пац А. Ч.	Дифференцированная оценка зеленой инфраструктуры г. Минска с использованием данных дистанционного зондирования Земли <i>Differentiated assessment of the green infrastructure of Minsk using the data of remote sensing of the Earth</i>	152
---	---	-----

Навоша Ю. Ю., Тановицкая Н. И.	Оценка состояния торфяных месторождений на основе дешифрирования спутниковых снимков сверхвысокого разрешения (на примере Брестской области) <i>Assessment of peatlands on the basis of interpretation of satellite images of ultrahigh resolution (on the example of the Brest region)</i>	168
---------------------------------------	--	-----

ГЕОЛОГИЯ. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ GEOLOGY. MINERALS

Грибик Я. Г., Кондратенко Н. И.	Перспективы нефтеносности южной прибрежной зоны Припятского прогиба	177
--	---	-----

<i>Gribik Ya. G., Kondratenko N. I.</i>	<i>Prospectives of the oil-bearing of the south instrument zone of the Pripyat trough</i>	
---	---	--

Кудрицкий А. П.	О возможных причинах аномальных пластовых давлений в нефтеносных комплексах Речицко-Вишанская зоны Припятского прогиба <i>About the possible causes of abnormal formation pressures in oil-bearing complexes Rechitskoe-Veshenskoy zone of the Pripyat trough</i>	194
------------------------	--	-----

Матвеев А. В., Зерницкая В. П.	Влияние современной геодинамики на геэкологическую обстановку в Белорусском Поозерье	201
---------------------------------------	--	-----

<i>Matveyev A. V., Zernitskaya V. P.</i>	<i>The influence of modern geodynamics on the geoecological situation of Belarusian Poozere</i>	
--	---	--

Бровка Г. П., Мурашко А. А.	Процессы структурообразования в промерзающих осадочных горных породах	207
------------------------------------	---	-----

<i>Brovka G. P., Murashko A. A.</i>	<i>Processes of structure formation in frozen sediments rocks</i>	
-------------------------------------	---	--

Курзо Б. В., Жилин М. Г., Езепенко И. Н.	Геолого-геоморфологические предпосылки поисков поселений человека мезо-неолитического времени на озерно-болотных комплексах <i>Geological and geomorphological background of searching for human habitations of meso-neolithic time in lake-swamp complexes</i>	216
---	--	-----

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

Рупасова Ж. А., Яковлев А. П., Ярошук А. А., Задаля В. С., Коломиец Э. И., Алещенкова З. М., Лиштван И. И.	Влияние минеральных и микробных удобрений на антиоксидантную и ферментативную активность плодов голубики на рекультивируемом участке торфяного месторождения верхового типа	231
---	---	-----

<i>Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Yaroshuk A. A., Zadalia V. S., Kolomiets E. I., Aleschenkova Z. M., Lishvan I. I.</i>	<i>Influence of mineral and microbial fertilizers on the antioxidant and enzymatic activity of blueberry fruits on the reactive sector of the developed peat</i>	
---	--	--

Кунцевич В. Б., Макаренко Т. И., Гайдукевич О. М., Агейчик И. В., Гречко Е. В.	Сравнительный анализ определения оставшихся запасов торфа расчетным методом и по результатам геологической разведки	243
---	---	-----

<i>Kuntsevich V. B., Makarenko T. I., Gaidukevich O. M., Ageychik I. V., Grechko E. V.</i>	<i>The comparative analysis of the determination of the remaining peat reserves based on the results of geological exploration and the calculation method</i>	
--	---	--

Макеенко А. А. Сравнительная оценка состава и свойств твердых остатков от 249 получения гуминовых препаратов и возможные направления их использования

Makeyenko A. A. Comparative assessment of composition and properties of solid residues from getting humic preparations and possible directions for their use

Першай Н. С. Физико-химические и сорбционные свойства нерастворимого 256 остатка, образующегося при производстве жидких гуминовых препаратов

Pershay N. S. Physicochemical and sorption properties of insoluble residue formed in the production of water-soluble humic preparations

Першай Н. С., Янута Ю. Г. Новый сорбционный материал из остатков торфа и бурого угля 264
Pershay N. S., Yanuta Yu. G. New sorption material from residues of peat and brown coal

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ SCIENTIFIC REPORT

Пашкевич В. И., Анцух Ю. П., Томина Н. М., Черепанский М. М. Оценка условий формирования повышенных водопритоков в 274 карьер «Гралево» в зоне влияния водохранилища Витебской ГЭС

Pashkevich V. I., Antsukh Yu. P., Tomina N. M., Cherepansky M. M. The estimation of the conditions of the formation of increased of water supplies to 'Gralevo' quarry in the zone of the influence of the reservoir of Vitebsk hydroelectric station

РЕЦЕНЗИИ REVIEWS

Логинов В. Ф., Снытко В. А., Хомич В. С. «Век географии» – к 100-летию института географии Российской 279 академии наук
Loginov V. F., Snytko V. A., Khomich V. S. 'The Century of Geography' – to the 100th anniversary of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences

ХРОНИКА CHRONICS

Богдасаров М. А., Кухарик Е. А. Итоги IV Международной научно-практической конференции 281 «Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов»

Bogdasarov M. A., Kukharik E. A. Results of the IV International scientific and practical conference 'Actual problems about the Earth sciences: research and transboundary regions'

ЮБИЛЕИ JUBILEE

Бамбалов Н. Н., Лиштван И. И., Томсон А. Э., Ракович В. А., Гайдукевич О. М. К 70-летию со дня рождения Б. В. Курзо 284

Bambalov N. N., Lishtvan I. I., Thomson A. E., Rakovich V. A., Gaidukevich O. M. To the 70th anniversary of B. V. Kurzo



**АКАДЕМИК
АЛЕКСАНДР КИРИЛЛОВИЧ
КАРАБАНОВ**

25.10.1952 г. – 03.08.2019 г.

РОЛЬ АКАДЕМИКА А. К. КАРАБАНОВА В РАЗВИТИИ НАУК О ЗЕМЛЕ

**Р. Г. Гарецкий, А. В. Матвеев, Р. Е. Айзберг, А. В. Кудельский,
Я. Г. Грибик, Г. А. Камышенко, В. С. Хомич**

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В краткой форме представлены основные направления и результаты исследований безвременно ушедшего из жизни академика Александра Кирилловича Карабанова – директора Института природопользования НАН Беларусь, доктора геолого-минералогических наук, профессора, главного редактора журнала «Природопользование».

Ключевые слова: академик Карабанов; науки о Земле; геологические исследования; неотектоника; неогеодинамика; неотектонические движения; разломы земной коры.

Для цитирования. Гарецкий Р. Г., Матвеев А. В., Айзберг Р. Е., Кудельский А. В., Грибик Я. Г., Камышенко Г. А., Хомич В. С. Роль академика А. К. Карабанова в развитии наук о Земле // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 7–19.

THE ROLE OF ACADEMICIAN A. K. KARABANOV IN THE DEVELOPMENT OF EARTH SCIENCES

**R. G. Garetsky, A. V. Matveyev, R. E. Aizberg, A. V. Kudelsky, Ya. G. Gribik,
H. A. Kamyshenka, V. S. Khomich**

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

Abstract. The main directions and the results of the research of the untimely deceased academician Alexander Kirillovich Karabanov, director of the Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, doctor of geological and mineralogical sciences, professor, editor-in-chief of Nature Management journal, are presented in brief form.

Keywords: academician Karabanov; Earth sciences; geological research; neotectonics; neogeodynamics; neotectonical movements; earth crust.

For citation. Garetsky R. G., Matveyev A. V., Aizberg R. E., Kudelsky A. V., Gribik Ya. G., Kamyshenka H. A., Khomich V. S. The role of academician A. K. Karabanov in the development of Earth sciences. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 7–19.

3 августа 2019 г. скоропостижно и безвременно ушел из жизни академик Александр Кириллович Карабанов – директор Института природопользования НАН Беларусь, доктор геолого-минералогических наук, профессор.

Беларусь и белорусская наука в лице Александра Кирилловича потеряла большого ученого европейского уровня, человека высокой культуры, лидера белорусских геологов.

Коренной минчанин, Александр Кириллович в 1969 г. окончил специализированную среднюю школу № 24 (ныне лингвистический колледж), давшую ему не только глубокие знания основ естественнонаучных дисциплин, но и свободное владение немецким языком. Во время учебы на географическом факультете БГУ участвовал в многочисленных экспедициях по изучению озер в Белорусском Поозерье, организуемых известным лимнологом, профессором О. Ф. Якушко, а на старших курсах в геологических экспедициях под руководством академика Г. И. Горецкого.

С отличием окончив в 1974 г. Белгосуниверситет, поступил в очную аспирантуру Института геохимии и геофизики АН БССР. С тех пор делом всей его жизни стала геология. Огромное влияние на формирование молодого специалиста оказали академик Г. И. Горецкий и научный руководитель по кандидатской диссертации профессор Э. А. Левков.

В начале пути

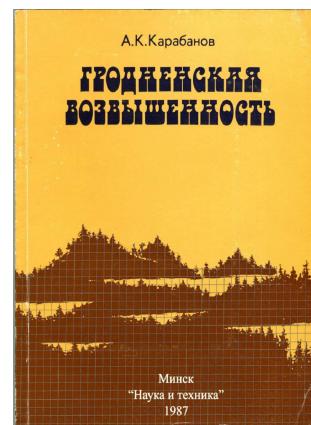
Научные интересы Александра Кирилловича на начальном этапе исследований были сосредоточены в области четвертичной геологии, геоморфологии и геодинамики. Они были связаны с выявлением закономерностей строения новейших геологических формаций, изучением ледникового морфогенеза и эволюции крупных форм рельефа, гляциотектоники. На протяжении многих лет это направление развивалось в творческом сотрудничестве с профессором Э. А. Левковым.

По материалам защищенной в 1983 г. кандидатской диссертации А. К. Карабанов в 1987 г. опубликовал свою первую монографию «Гродненская возвышенность: строение, рельеф, этапы формирования». С применением комплекса методов (геолого-геоморфологического, литологического, палинологического, палеокарпологического и др.) Александром Кирилловичем реконструирована палеогеографическая обстановка разных этапов формирования Гродненской возвышенности, впервые выявлена ведущая роль гляциотектонических процессов в ее формировании. Показано, что возвышенности такого типа в своем развитии проходят ряд закономерно сменяющих друг друга стадий. Предложена классификация и дано объяснение происхождения типов и форм рельефа рассматриваемого региона [1, 2].



В экспедиции, начало 1980-х годов

On an expedition, early 1980s



Первая монография

First monograph

Установленные А. К. Карабановым закономерности строения и формирования Гродненской возвышенности позволили по-новому подойти к решению ряда научно-теоретических и прикладных задач геоморфологии, геологии и палеогеографии антропогена. Эти результаты показали важную роль гляциотектоники при формировании антропогенной толщи и рельефа ледораздельных возвышенностей. Они подтвердили необходимость обязательного учета гляциотектонических явлений при различных стратиграфических, палеогеографических и геоморфологических построениях (рис. 1).

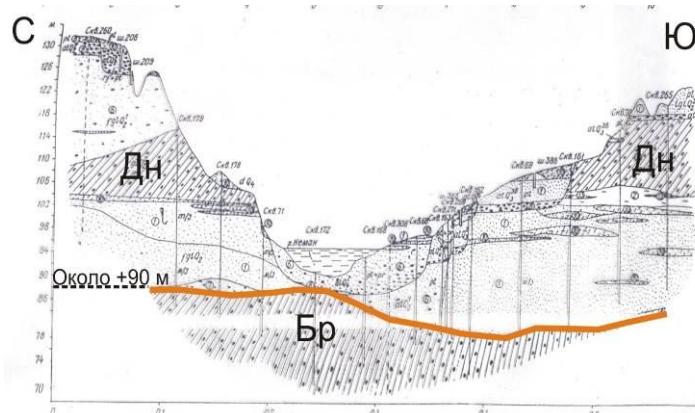


Рис. 1. Условия залегания морены в долине Немана (долина прорыва восточнее Гродно)

Fig. 1. Conditions of Moraine bedding in Neman Valley (breakthrough valley eastern from Grodno)

Период руководства лабораторией неогеодинамики в Институте геологических наук

Полученные выводы и результаты предопределили дальнейшее направление исследований Александра Кирилловича – неотектоника и неогеодинамика. Это отразилось в тематике докторской диссертации – «Неотектоника Беларусь» и названии лаборатории неогеодинамики, основанной Э. А. Левковым в Институте геологических наук, которую А. К. Карабанов возглавил в 1992 г.

Успешной работе в указанных направлениях во многом способствовали разработанные А. К. Карабановым совместно с Э. А. Левковым методики реконструкции амплитуд неотектонических движений [3] и составления неотектонических карт [4].

Методика реконструкции амплитуд неотектонических движений была использована применительно к области плейстоценового древнематерикового оледенения. В качестве реперной поверхности выбрана кровля морских нижнеолигоценовых отложений, при этом к неотектонической стадии отнесено время с позднего олигоцена до наших дней (около 28 млн лет) [3, 5]. Первый этап реконструкции заключается в сопоставлении (суперпозиции) двух специальных карт: гипсометрической карты реставрированного рельефа поверхности морских палеогеновых отложений и сопредельных участков суши (поверхности выравнивания), существовавшего на момент сразу после регрессии последнего морского бассейна, и структурной карты современного рельефа кровли той же поверхности.

Использование методики реконструкции амплитуд неотектонических движений применительно к условиям территории Беларуси и смежных областей запада Восточно-Европейского кратона позволило А. К. Карабанову совместно с соавторами выделить неотектонические структуры разного ранга и выявить характер геодинамических и тектонических процессов, протекавших в новейшее время на территории Беларуси и смежных областей Центральной Европы; определить интервал геологического времени, соответствующий неотектонической стадии в составе киммерийско-альпийского этапа тектогенеза. В рамках неотектонической стадии выделены три подстадии: раннеолигоцен-среднемиоценовая (28–12 млн лет), позднемиоцен-раннеплейстоценовая (12–0,8 млн лет) и среднеплейстоцен-голоценовая (0,8 млн лет – настоящее время), – существенно отличающиеся по характеру осадконакопления, тектонических процессов, геодинамических обстановок [6–8].

С целью выявления пространственно-временных закономерностей развития неогеодинамических процессов Александром Кирилловичем выполнено структурно-формационное расчленение отложений, образующих верхнеолигоцен-антропогеновый структурный этаж в составе киммерийско-альпийского структурного комплекса. Установлены основные фазы неотектонической активизации, приходящиеся на средний миоцен и средний плейстоцен и соответствующие рубежам между новейшими формациями. Определены суммарные амплитуды неотектонических движений и проведено неотектоническое районирование западного сектора Евразийской литосферной плиты. При этом установлено, что на западе Восточно-Европейского кратона крупнейшими неотектоническими структурами являются Балтийско-Белорусская синеклиза, Восточно-Балтийская и Финская системы грабенов, Воронежско-Тверская и Украинская антеклизы, Десненская седловина и другие, на Западно-Европейской платформе – Североморская депрессия, Северогерманско-Польская зона опусканий, Центрально-Европейская зона поднятий и др. Показано, что для неотектонических структур Западно-Европейской платформы преобладает унаследованный стиль строения по отношению к допозднеолигоценовым платформенным структурам, для запада Восточно-Европейского кратона – наложенный. На площади Беларуси выделено 11 неотектонических структур второго ранга и сотни локальных, показано, что формирование части локальных структур связано с новейшей активизацией процессов галокинеза и суброзии в Припятском прогибе [3, 4, 9, 10].

При выявлении активных разломов использовался комплексный анализ геологических, геофизических, геохимических, геоморфологических, геодезических и иных данных [3, 10]. Основным признаком, отличающим активные разломы, согласно А. К. Карабанову, является их проявление в структуре новейших отложений и/или рельфе земной поверхности (разрывы, смещения, флексурные перегибы слоев, резкие колебания мощности, изменения фациального состава, выклинивание геологических тел, соотношение с эрозионными срезами и т. д.). Дополнительный критерий – закономерное сопряжение с разломом тектоноледниковых форм рельефа, таких как водно-ледниковые озера, озоподобные инъективные гряды и других, что хорошо проиллюстрировано в ряде работ А. К. Карабанова и Э. А. Левкова (рис. 2) [11, 12]. Для уточнения выявленной системы разрывных нарушений актуализировался материал по газово-гидрохимическим аномалиям, областям разгрузки глубинных вод, современному сейсмическому режиму [13, 14].

Особенно плодотворной была работа по неогеодинамическому направлению исследований, проведенная А. К. Карабановым в середине 1990-х годов совместно с Р. Г. Гарецким, Э. А. Левковым, Р. Е. Айзбергом, другими учеными Беларуси, группой немецких, польских, украинских геологов в рамках международного проекта «Неогеодинамика Балтики» по Международной программе геологических корреляций (IGCP; 1994–1997 гг.). В это время Александром Кирилловичем в соавторстве с исполнителями проекта была разработана целая серия неотектонических карт, публикуется множество

статьей по геотектонике и неогеодинамике территории Беларуси и запада Восточно-Европейской платформы [15–18].

В 2002 г. А. К. Карабанов защитил докторскую диссертацию на тему «Неотектоника Беларуси», которая получила высокую оценку геологов нашей страны, России, Украины, Польши, Германии, Литвы, Латвии, Эстонии.

А. К. Карабановым совместно с академиком А. В. Матвеевым и членом-корреспондентом Р. Е. Айзбергом установлен комплекс геологических, геохимических и геоморфологических критериев выделения активных в среднем плейстоцене, позднем плейстоцене и голоцене тектонических нарушений и выявлена сеть активных на современном этапе линейных структур (рис. 3). Показана связь активных разломов с особенностями строения четвертичных отложений, геохимическими аномалиями и повышенным содержанием радона в почвенном воздухе и воздухе помещений.

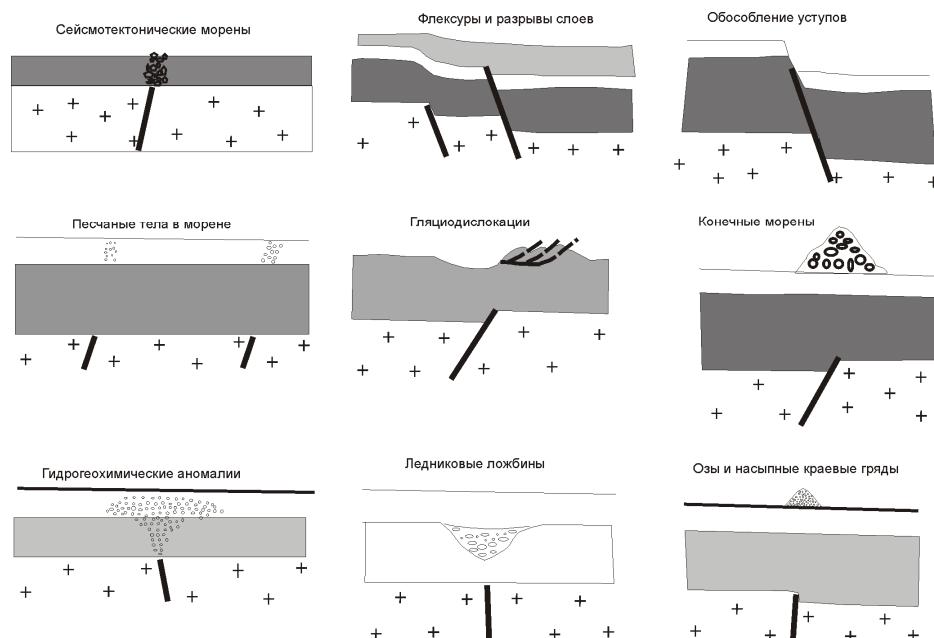


Рис. 2. Основные формы проявления активных разломов

Fig. 2. Basic forms of active faults indication

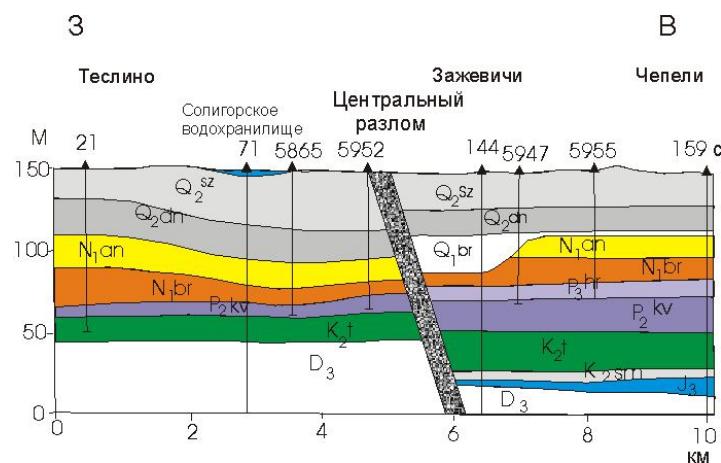


Рис. 3. Геологический профиль через Центральный разлом
(Старобинское месторождение калийных солей)

Fig. 3. Geological profile through Central fault (Starobin deposit of potassium salts)

По результатам изучения разломов земной коры сформулирована геодинамическая концепция формирования и эволюции разрывных нарушений в земной коре территории Беларуси. Названная концепция изложена в монографии «Разломы земной коры Беларуси» [19]. Совместно с членом-корреспондентом Р. Е. Айзбергом и академиком А. В. Матвеевым за цикл научных работ, включающий названную монографию, А. К. Карабанов в 2009 г. удостоен звания лауреата премии НАН Беларуси.

В лаборатории неогеодинамики под руководством и при участии Александра Кирилловича велись исследования и по другим научным направлениям: геологии четвертичных отложений, геоморфологии и палеогеографии [20–23].

В начале 2000-х годов при участии А. К. Карабанова разработана Новая стратиграфическая схема четвертичных отложений Беларуси (соавт. А. Ф. Санько, А. В. Матвеев, А. Н. Мотузко, Т. Б. Рылова, Г. И. Илькевич и др.).

В это же время выявлены основные закономерности строения геологических формаций позднего кайнозоя (олигоцен, неоген, квартер) территории Беларуси [24].

Во главе Института природопользования НАН Беларуси

Начало нового этапа в научной деятельности А. К. Карабанова связано с переводом его в состав группы геологов в 2008 г. в Институт природопользования НАН Беларуси, где он возглавил лабораторию геодинамики и палеогеографии, а спустя полгода был назначен директором института.

В этот период круг научных интересов Александра Кирилловича значительно расширился, поскольку кроме выполнения заданий по проектам научных исследований на него было возложено руководство государственными научными программами, головной организацией – исполнителем которых являлся институт.

Были продолжены работы по геотектонике и неогеодинамике Беларуси и смежных территорий. По результатам исследований совместно с академиком Р. Г. Гарецким и членом-корреспондентом Р. Е. Айзбергом были опубликованы 2 монографии: «Неотектоника и неогеодинамика запада Восточно-Европейской платформы» [25] и «Неотектоника и неогеодинамика Беларуси» [26], в которых рассмотрены вопросы терминологии и методических аспектов неотектонических и неогеодинамических исследований. На фоне основных черт строения и развития глубинных структур литосферы, фундамента, допозднеолигоценовых тектонических элементов платформенного чехла описаны структурно-информационные подразделения новейших отложений, неотектонические структуры и активные разломы Беларуси и запада Восточно-Европейской платформы.



В этот период А. К. Карабановым совместно с коллегами была разработана тектоно-неогеодинамическая модель, выявлены закономерности проявления неогеодинамики земной коры Беларуси и сопредельных регионов в связи с особенностями глубинного строения, составлена неотектоническая карта Беларуси масштаба 1 : 500 000, на которой уточнены границы региональных тектонических структур, проведена типизация и определена позиция платформенных и доплатформенных разломов, выполнено неотектоническое районирование территории.

Были выявлены основные закономерности распространения и формы проявления неотектонических структур в строении толщи четвертичных отложений территории Беларуси. Установлено ведущее значение активных разломов в обособлении зон возможного возникновения землетрясений, что явилось теоретической и методической основой разработки сейсмотектонических моделей рай-

нов строительства ответственных инженерных сооружений. Разработана методика комплексного спрямленного исследования тектонических и сейсмических процессов и разработки сейсмотектонических моделей, использованная для составления сейсмотектонической карты Беларуси, а также средне- и крупномасштабных сейсмотектонических карт и моделей районов расположения площадок возможного строительства АЭС (совместно с членом-корреспондентом Р. Е. Айзбергом, академиком Р. Г. Гарецким, А. Г. Ароновым, Р. Р. Сероглазовым, Т. И. Ароновой). Фундаментальное обоснование принятых подходов к анализу сейсмотектонических и сейсмологических условий региона изложено в монографии «Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы» 2007) [27].



Сотрудники лаборатории геодинамики и палеогеографии, 2008 г.

Colleagues of Geodynamics and Paleogeography Laboratory, 2008

На основе проведенного сейсмотектонического районирования региона выделены потенциально активные структуры, дана прогнозная оценка сейсмотектонического потенциала таких структур, уточнены геолого-геофизические характеристики ранее выделенных зон возможного возникновения очагов землетрясений (ВОЗ), определены параметры впервые выделенных Могилевской и Кричевской ВОЗ. По результатам интерпретации новых геолого-геофизических материалов на территории Краснополянской площадки возможного строительства АЭС впервые выявлен разлом с амплитудой смещений по поверхности фундамента до 150–170 м, на территории Кукшиновской площадки выявлена система разломов с амплитудой смещения до 200 м. На территории Островецкого пункта выделено два устойчивых тектонических блока, в пределах которых оконтурены две конкурентные площадки для строительства АЭС. Составлена серия геолого-геофизических профилей и специальных карт (разломов, активных физико-геологических процессов, геологических, структурных и других карт) по территории районов расположения конкурентных пунктов и площадок в масштабе 1 : 1 500 000 – 1 : 10 000. На территории Краснополянской площадки выполнено сейсмическое микрорайонирование, определены пределы возможного приращения балльности в зависимости от грунтовых условий (от 0,02 до 0,9 балла). Выполнено уточнение исходной сейсмичности, проведены расчеты сейсмического воздействия от удаленных землетрясений, установлены величины проектного (П3) и максимального расчетного (МР3) землетрясений для всех изученных площадок. На основании комплексного анализа данных изучения сейсмотектонических, инженерно-геологических и гидрогеологических условий выполнено ранжирование конкурентных площадок (совместно с А. Г. Ароновым, членом-корреспондентом Р. Е. Айзбергом, академиком А. В. Матвеевым, академиком Р. Г. Гарецким).

В 2009 г. под редакцией А. К. Карабанова издана инженерно-геологическая карта г. Минска и окрестностей масштаба 1 : 50 000, на которой отражены площади распространения и основные характеристики преобладающих на территории города стратиграфо-генетических комплексов: насыпных грунтов, лёссовидных отложений поозерского горизонта, основных и конечных морен сожского горизонта и других, – составлены геоморфологическая карта с элементами неотектоники, карта глубин уровня грунтовых вод, инженерно-геологические разрезы. Полученные в ходе реализации работ по составлению инженерно-геологической карты научные и практические результаты являются основой для планирования гражданского и промышленного строительства и разработки природоохранных мероприятий в столице [28].



Международный симпозиум, Эстония 2003 г.

International Symposium, Estonia 2003

Проведена систематизация на рудно-формационной основе данных об основных месторождениях и проявлениях полезных ископаемых Беларуси и разработана классификации минерального сырья по степени изученности, промышленного освоения и экономическому потенциалу как основа для оценки потенциальных возможностей развития минерально-сырьевой базы и обоснования базовых направлений минерально-сырьевого обеспечения промышленности Беларуси (совместно с А. В. Унуковичем, И. В. Найденковым, Я. И. Аношко).

Александром Кирилловичем совместно с академиком Р. Г. Гарецким и членом-корреспондентом Р. Е. Айзбергом разработана тектоническая модель платформенного чехла Беларуси и составлена карта выклинивания платформенного чехла Беларуси масштаба 1 : 2 500 000, эти материалы использованы для составления международной тектонической карты Северной Евразии (Россия и страны СНГ).

В последние годы А. К. Карабанов много внимания уделял радоновой тематике. Совместно с академиком А. В. Матвеевым и М. И. Автушко им изучены особенности распределения на территории Беларуси величин концентрации радона в поровом воздухе почв, рассчитана объемная активность радона (ОАР) в поровом воздухе основных типов осадочных коренных пород чехла и в наиболее распространенных типах пород кристаллического фундамента. Показано, что наибольшие значения этого показателя характерны для кварцево-глауконитовых песков (песчаников) – до 19 000 $\text{Бк}/\text{м}^3$, глин – до 19 600, тиллитов – до 20 900, мергелей – до 16 000 $\text{Бк}/\text{м}^3$. Установлено, что наибольшая ОАР характерна для гранитоидов (до 90 700 $\text{Бк}/\text{м}^3$), эффузивных аналогов кислых магматических пород (до 135 100 $\text{Бк}/\text{м}^3$), сильно измененных разновидностей габбро (до 1 284 000 $\text{Бк}/\text{м}^3$), минимальные – для базальтов, ультраосновных пород (менее 20 000 $\text{Бк}/\text{м}^3$). Построены схемы распределения концентраций радона в дочетвертичных породах Беларуси, в породах кристаллического фундамента; в четвертичных отложениях. Выполнено районирование территории Беларуси по концентрациям радона в почвенном воздухе. Выделено пять типов территорий по распространению площадных радоновых аномалий и три типа линейных радоновых аномалий. По концентрациям радона (радоновой опасности) территория Беларуси подразделена на потенциально опасные, потенциально опасные на отдельных площадях, потенциально опасные на локальных участках, относительно безопасные и безопасные территории [29].

Совместно со специалистами ОИЭЯИ «Сосны» выполнено изучение содержания радона в воздухе более 1800 жилых, производственных и общественных помещений на территории г. Минска, Минской, Гомельской, Гродненской и Могилевской областей, показавшее, что распределение концентраций радона имеет закономерный характер и обусловлено двумя основными факторами: глубиной залегания генерирующих радон гранитоидов, а также наличием в земной коре активных разломов. Установлено, что максимальные значения (более 200 $\text{Бк}/\text{м}^3$) средних уровней концентрации радона наблюдаются в Гродненской области (23,1 %), минимальные – в Гомельской (3,0 %) [30].

Результаты международного сотрудничества

А. К. Карабанов много внимания и времени уделял международному сотрудничеству, совместному с иностранными коллегами геологическому изучению трансграничных регионов, геологического строения стран Центральной и Восточной Европы. Совместные исследования проводились прежде всего по таким направлениям, как тектоника и геодинамика, корреляция стратиграфических подразделений и геологическое картирование.

Как уже было отмечено, Александр Кириллович принимал активное участие в комплексных исследованиях неотектоники и новейшей геодинамики территории Центральной и Восточной Европы в 1993–1997 гг. с участием геологов Беларуси, Германии, Дании, стран Балтии, Польши и Украины в рамках проекта IGCP (International Geological Correlation Programm) № 346 «Неогеодинамика де-прессии Балтийского моря и сопредельных областей (Neogeodynamica Baltica)». Рабочей группой участников проекта во главе с Г. Швабом (Германия) и Р. Г. Гарецким (Беларусь) были впервые определены амплитуды неотектонических (олигоцен-четвертичных) движений, выделены разноранговые неотектонические структуры и проведено неотектоническое районирование Центральной и Восточной Европы. Было установлено, что формирование крупных неотектонических структур и перестройка гидрографической сети региона обусловлены развитием Балтийской системы рифтовых грабенов. Результаты этих исследований изложены в серии статей [18, 31, 32].

В 1997–1998 гг. А. К. Карабанов в составе рабочей группы Комиссии по оледенениям INQUA (International Union for Quaternary Research, Comission on Glaciation) принимал участие в выполнении международного проекта в области гляциотектоники "Central European Glaciotectonic Database and Map Project". Координатором проекта был А. Бер (Польша), локальными координаторами – А. Битинас (Литва), М. Ханнеман (Германия), В. Калм (Эстония), В. Зелчс (Латвия), А. В. Матошко (Украина), А. К. Карабанов (Беларусь). Результатом реализации проекта стала серия публикаций и комплектов гляциотектонических карт по территориям стран-участниц [33].

Под руководством А. К. Карабанова выполнен ряд белорусско-польских научных проектов. С целью корреляции водно-ледниковых и аллювиальных образований и реконструкции условий миграции талых ледниковых вод и этапов формирования речной сети в позднеледниковые на территории восточной Польши и Беларуси были изучены серии озерно-ледниковых отложений средне- и позднеплейстоценового возраста в трансграничном регионе на северо-западе Беларуси и северо-востоке Польши.



**Подписание меморандума о сотрудничестве с Центром трансфера технологий
Шандуньской академии наук (КНР)**

**Signing a memorandum of cooperation with the Technology Transfer Center
Shandong Academy of Sciences (PRC)**

Совместные исследования озерно-ледниковых отложений в обнажениях в долине Немана у Гродно (Дубна, Богатыревичи, Лунна, Мосты и др.) позволили выполнить корреляцию разрезов и восстановить этапы изменения обстановок осадконакопления. В том же районе выявлены и исследованы отложения нескольких межледниковых эземских/муравинских изолированных озер. Проведенные седimentологический и литофациальный анализы позволили сделать важный вывод о том, что первые следы существования севернее Гродно крупной реки относятся к концу последнего оледенения. Формирование самого молодого участка долины Немана севернее Гродно было связано с последовательными эпизодами отступления ледника и последующего прорыва на север талых вод Скидельского и других приледниковых озер Неманской системы. Всего выявлено пять дренажных эпизодов эволюции Скидельского приледникового водоема в позднепоозерское время, которые оказали решающее влияние на формирование современной гидросети бассейнов Немана и Вислы.

В 2009–2011 гг. в рамках Польско-Белорусского проекта «Составление геологических и геоморфологических карт, объединенное с основными палеонтологическими и седimentологическими исследованиями в приграничном регионе Польши и Беларуси» международным коллективом геологов был выполнен комплекс полевых и лабораторных исследований, положивший начало обоснов-

ванию надежной корреляции границ разновозрастных ледниковых покровов и стратиграфических подразделений плейстоцена на трансграничной польско-белорусской территории (район Гродно и Сокулки).

В дальнейшем геологические исследования были продолжены в южной части польско-белорусского пограничного региона в рамках международного проекта «Модель геологической структуры, региональные опорные горизонты и палеоклиматы среднего плейстоцена южной части Польско-Белорусского приграничного региона (2014–2017)». В ходе реализации этого проекта проведены комплексные исследования опорных разрезов ледниковых и межледниковых отложений (Речица, Осувка, Чепели, Липница, Мокраны Нове и др.) и разработана новая геолого-геодинамическая модель структуры и динамики днепровского (заальского) ледника на территории приграничных областей Польши и Беларуси.

В результате работ по этому международному проекту прежние представления о геологическом строении и возрасте отложений и форм рельефа с обеих сторон границы существенно изменились. Анализ многочисленных архивных данных по скважинам, имеющимся на польской и белорусской стороне, прояснил и дополнил общую картину геологического строения четвертичных отложений и позволил сосредоточить полевые работы на нескольких ключевых участках с наиболее представительными обнажениями и разрезами буровых скважин. Собранные образцы были изучены комплексом литологических, палеонтологических, палеоэкологических и хроностратиграфических методов.

В изученных ключевых разрезах были прослежены важнейшие события среднего плейстоцена. В разрезах с отложениями александрийского (мазовецкого, голштейнского) межледниковых было выполнено подробное исследование как межледниковых, так и подстилающих и вышележащих слоев.

Результаты проведенного исследования дали основание пересмотреть положение границ максимального продвижения ледниковых покровов днепровской и сожской стадий Припятского оледенения (оледенение Odra в Польше) и доказать, что ледник днепровской стадии имел значительно более ограниченное распространение, чем считалось ранее, в частности меньшее, чем ледник молодой сожской стадии (стадиал Warta в Польше) на территории междуречья средней Вислы и Среднего Днепра. Эти выводы были представлены на 19-м конгрессе ИНКВА в Японии и в 2018 г. опубликованы в международном журнале *Quaternary International* [34].

По результатам комплексных совместных польско-белорусских исследований составлены и изданы два комплекта геологических карт масштаба 1 : 250 000 трансграничных районов Сокулка–Гродно и Бяла Подляска–Брест [35, 36].

В рамках сотрудничества с Институтом геологии и географии Центра природных исследований Литвы (Вильнюс) под руководством А. К. Карабанова были выполнены два литовско-белорусских проекта по комплексному изучению ключевых разрезов межледниковых отложений плейстоцена на территории Литвы и Беларуси. В результате исследований проведена корреляция основных стратиграфических подразделений и предложена новая стратиграфическая схема плейстоцена юго-восточного сектора скандинавского материкового оледенения [37].

Научно-организационная и педагогическая работа

На протяжении последних 11 лет А. К. Карабанов возглавлял Институт природопользования НАН Беларуси. В этот период Александром Кирилловичем осуществлялась большая научно-организационная работа по развитию наук о Земле, решению проблем поиска, разведки и добычи полезных ископаемых, природопользования и охраны окружающей среды. Будучи с мая 2008 г. директором Института природопользования НАН Беларуси, являлся организатором и научным руководителем ряда государственных программ разного уровня – Государственной программы социально-экономического развития и комплексного использования природных ресурсов Припятского Полесья (2010–2015 гг.), государственной программы «Мониторинг полярных районов Земли и обеспечение деятельности арктических и антарктических экспедиций» (2011–2015 гг.), государственных программ научных исследований «Химические технологии и материалы, природно-ресурсный потенциал» (2011–2015 гг.), «Природопользование и экология» (2016–2020 гг.).

А. К. Карабанов сочетал научную и научно-педагогическую работу. В течение 20 лет он работал по совместительству профессором кафедры динамической геологии географического факультета БГУ, руководил филиалом этой кафедры при НАН Беларуси, являлся научным руководителем аспирантов, один из которых – кандидат наук Д. Курлович – ныне декан географического факультета Белорусского государственного университета.

Публикации

Результаты научных исследований А. К. Карабанова обобщены более чем в 350 опубликованных научных работах, в том числе 13 монографиях, которые нашли широкое признание как в Беларуси, так и за рубежом.

Признание научных заслуг

В 2004 г. Александр Кириллович был избран членом-корреспондентом, в 2014 г. – академиком НАН Беларуси. В 2011 г. ему присвоено ученое звание профессора.

Еще будучи студентом географического факультета БГУ, за активную работу в студенческих строительных отрядах и отличную учебу А. К. Карабанов был награжден медалью «За трудовую доблесть».

В 2018 г. Президентом страны Александру Кирилловичу была вручена медаль Франциска Скорины за успехи в научной деятельности.

За цикл работ «Разломы и линеаменты земной коры Беларуси: теоретические и прикладные аспекты» А. К. Карабанов удостоен Премии Национальной академии наук Беларуси 2008 г.

В 2019 г. Александр Кириллович награжден нагрудным знаком Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь «Ганаровы эколаг» за высокий профессионализм и неоценимый личный вклад в дело рационального природопользования и охраны окружающей среды.

P. S. Александр Кириллович Карабанов обладал высокими личностными качествами. Он был доброжелательным, добросердечным и деликатным человеком, широко образованным интеллигентом. Это всегда привлекало к нему коллег, студентов, друзей. Светлая память об Александре Кирилловиче – выдающемся белорусском ученом – навсегда останется у его коллег, друзей, всех тех, кто учился у него, знал этого замечательного человека.

Список использованных источников

1. Карабанов, А. К. Гродненская ледораздельная возвышенность (строение, рельеф, этапы формирования) : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 11.00.04 (геоморфология и палеогеография) / А. К. Карабанов. – Минск : БГУ, 1983. – 24 с.
2. Карабанов, А. К. Гродненская возвышенность / А. К. Карабанов // Хрестоматия по физической географии БССР. – Минск : Народная асвета, 1989. – С. 219–221.
3. Левков, Э. А. Неотектоническое районирование территории Белоруссии / Э. А. Левков, А. К. Карабанов // Докл. АН БССР. – 1987. – Т. 31, № 9. – С. 821–824.
4. Левков, Э. А. Методика составления неотектонической карты / Э. А. Левков, А. К. Карабанов // Тектоника запада Восточно-Европейской платформы ; под ред. Р. Г. Гарецкого. – Минск : Наука и техника, 1990. – С. 10–12.
5. Левков, Э. А. Роль неотектоники и оледенения в формировании гидрографической сети Белоруссии / Э. А. Левков, А. К. Карабанов // Геоморфология. – 1987. – № 4. – С. 67–73.
6. Карабанов, А. К. История развития структур запада Восточно-Европейской платформы. Киммерийско-альпийский (позднетриасово-антропогеновый) этап / А. К. Карабанов, Э. А. Левков, К. Н. Монкевич // Тектоника запада Восточно-Европейской платформы ; под ред. Р. Г. Гарецкого. – Минск : Наука и техника, 1990. – С. 113–121.
7. Karabanov, A. K. Zur neotektonischen Entwicklung des sudostlichen Ostseebeckens (Spatoligozan-Quartar) / A. K. Karabanov, R. G. Garetski, E. A. Levkov, R. E. Aizberg // Zeitschrift für geologischen Wissenschaften. – 1994. – В. 22, Н. 1/2. – С. 271–274.
8. Левков, Э. А. Неотектоника Беларуси / Э. А. Левков, А. К. Карабанов // Літасфера. – 1995. – № 1. – С. 119–126.
9. Левков, Э. А. О величине экзарационного среза в центре Скандинавского оледенения / Э. А. Левков, А. К. Карабанов // Докл. АН Беларуси. – 1994. – Т. 38, № 1. – С. 95–97.
10. Карабанов, А. К. Неотектоника Беларуси / А. К. Карабанов : автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук : 25.00.03 (геотектоника и геодинамика). – Минск : ИГН НАНБ, 2002. – 45 с.
11. Карабанов, А. К. Озы выдавливания в Белоруссии / А. К. Карабанов, Э. А. Левков // Докл. АН БССР. – 1990. – Т. 34, № 6. – С. 547–549.
12. Левков, Э. А. О природе краевых ледниковых образований ландшафтного заказника Голубые озера / Э. А. Левков, А. К. Карабанов // Докл. АН Беларуси. – 1992. – Т. 36, № 3–4. – С. 237–239.
13. Радон в природных и техногенных комплексах Беларусь / А. В. Матвеев, А. В. Кудельский, Р. Е. Айзберг, И. В. Найденков, А. К. Карабанов, М. С. Капора // Літасфера. – 1996. – № 5. – С. 151–161.
14. Сейсмотектоника Беларуси и Прибалтики / Р. Е. Айзберг, А. Г. Аронов, Р. Г. Гарецкий, А. К. Карабанов, О. Н. Сафонов // Літасфера. – 1997. – №. 7. – С. 5–18.
15. Новейшая тектоника Северной Евразии. Объяснительная записка к карте новейшей тектоники Северной Евразии масштаба 1 : 5 000 000. – М. : ГЕОС, 1998. – 147 с.
16. Levkov, E. A. Neogeodynamics of Belarus / E. A. Levkov, R. G. Garetsky, A. K. Karabanov, R. E. Aizberg // Technika Poszukiwan Geologicznych. Geosynoptyka i Geotermia. – 1995. – № 3. – С. 23–30.
17. Sim, L. The neotectonic stress of Belarus and the Baltic countries / L. Sim, G. Bryantseva, A. Karabanov, R. Aizberg // Technika Poszukiwan Geologicznych. Geosynoptyka i Geotermia. – 1995. – № 3. – С. 53–58.
18. Neogeodynamics of the Baltic sea depression and adjacent areas. Results of IGCP project 346 / R. G. Garetsky, R. Y. Aizberg, A. K. Karabanov, Franz Kockel, Alfred O. Ludwig, H. Lykke-Andersen, Stanislaw Ostaficzuk, V. P. Palijenko, L. S. Sim, A. Sliaupa & Werner Stackebrandt // Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge. – 2001. – № 1. – 47 р.

19. Разломы земной коры Беларуси ; под ред. Р. Е. Айзберга / Р. Е. Айзберг, Р. Г. Гарецкий, А. К. Карабанов [и др.]. – Минск : Красико-Принт, 2007. – 371 с.
20. Pavlovskaya, I. Geological outline of the Quaternary in the Middle Neman area / I. Pavlovskaya, A. Karabanov // Field symposium on Quarternary geology and geodynamics in Belarus. Excursion guide. – Minsk, 2002. – С. 6–8.
21. Litviniuk, G. Muravian (Eemian) and Poozerian (Weichselian) sequence at Bogatyrevichi / G. Litviniuk, Ya. Yelovicheva, I. Pavlovskaya, A. Karabanov // Field symposium on Quarternary geology and geodynamics in Belarus. Excursion guide. – Minsk, 2002. – С. 14–19.
22. Karabanov, A. Some debatable problems of the Pleistocene stratigraphy of Belarus / A. Karabanov, A. Matveev, I. Pavlovskaja, T. Rylova, I. Savchenko // 4 seminarium polsko-bialoruskie. Panstwowy Instytut Geologiczny. – Warszawa, 2006. – Р. 4–8.
23. Рылова, Т. Б. О стратиграфическом расчленении гляциоплейстоцена Беларуси и количестве оледенений / Т. Б. Рылова, И. Э. Павловская, А. К. Карабанов // Проблемы геологии Беларуси. – Минск : БелГЕО, 2005. – С. 51–54.
24. Карабанов, А. К. Верхнеолигоцен-четвертичные осадочные формации Беларуси / А. К. Карабанов // Стратиграфия и палеонтология геологических формаций Беларуси : материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения А. В. Фурсенко. – Минск : ИГН НАНБ, 2003. – С. 149–151.
25. Карабанов, А. К. Неотектоника и неогеодинамика запада Восточно-Европейской платформы / А. К. Карабанов, Р. Г. Гарецкий, Р. Е. Айзберг. – Минск : Беларуская навука, 2009 . – 172 с.
26. Карабанов, А. К. Неотектоника и неогеодинамика Беларуси / А. К. Карабанов, Р. Г. Гарецкий, Р. Е. Айзберг. – LAMBERT Academic Publishing. – Saarbrucken, Germany, 2014. – 252 с.
27. Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы ; под ред. Н. В. Шарова, А. А. Маловичко, Ю. К. Щукина / В. В. Адущин, Р. Е. Айзберг, А. Г. Аронов, Р. Г. Гарецкий, А. К. Карабанов и др. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. – Кн. 1 : Землетрясения. – 381 с.; кн. 2 : Микросейсмичность. – 96 с.
28. Карабанов, А. К. О новой инженерно-геологической карте г. Минска / А. К. Карабанов, Г. И. Илькевич, В. В. Бадяй // Актуальные проблемы геологии и поисков месторождений полезных ископаемых. – Минск : БГУ, 2011. – С. 62–64.
29. Матвеев, А. В. Радон в геологических комплексах Беларуси / А. В. Матвеев, А. К. Карабанов, М. И. Автушкин. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 136 с.
30. Карабанов, А. К. Карта радионового риска Беларуси / А. К. Карабанов, Л. А. Чунихин, Д. Н. Дроздов, А. Л. Чеховский, И. В. Жук, О. И. Ярошевич, М. В. Конопелько // Природные ресурсы. – 2015. – № 2. – С. 73–79.
31. Aizberg, R. Seismotectonic of Belarus and the Baltic sea region / R. Aizberg, R. Garetsky, A. Karabanov, A. Aronov, O. Sofronov // Technika poszukiwań geologicznych. Geosynoptyka i Geotermia. – Krakow. – 1999. – № 1 (195). – S. 28–37.
32. Aizberg, R. Neotectonic subdivision of the Baltic Sea depression and adjacent areas, scale 1 : 5 / R. Aizberg, R. Garetsky, A. Karabanov, R. Kockel, E. Levkov, A. Ludwig [et al.] // Mio Brandenburgische Wissenschaftliche Beiträge (Germany). – 2001. – В. 8, Н. 1. – Part II : Set of the neogeodynamic maps. – Map 2.
33. Гарецкий, Р. Г. Новейшая тектоника и геодинамика Центральной Европы / Р. Г. Гарецкий, Р. Е. Айзберг, А. К. Карабанов, В. П. Палиенко, А. И. Шляупа // Геотектоника. – 1999. – № 5. – С. 3–14.
34. Revised limit of the Saalian ice sheet in central Europe / L. Marks, A. Karabanov, J. Nitychoruk, M. Bahdasarau, T. Krzywicki, A. Maecka, K. Pochocka-Szwarc, J. Rychel, B. Woronko, Ł. Zbucki, A. Hradunova, M. Hrychanik, S. Mamchyk, T. Rylova, L. Nowacki, M. Pielach // Quaternary International 478. – 2018. – Р. 59–74.
35. Geological map of Polish-Belarusian cross-border area Sokolka and Grodno region (Mapa geologiczna obszaru przygranicznego Polski i Białorusi, rejon Sokolki i Grodna). M 1 : 250 000 ; ed. by L. Marks, A. Karabanov // Panstwowy Institut Geologiczny. – Warszawa, 2011.
36. Geological Map of South ernpart of Polish-Belarusian cross-border area. Biala Podlaska and Brest region 1 : 250 000. Explanatory Text / T. Krzywicki, A. Majecka, L. Marks, J. Nitychoruk, Ł. Nowacki, M. Pielach, K. Pochocka-Szwarc, J. Rychel, M. Szymanek, B. Woronko, L. Zbucki, M. Bogdasarau, M. Hrachanik, A. Gradunova, A. K. Karabanov, S. O. Mamchyk, T. B. Rylova ; Sci. Ed. : L. Marks, A. K. Karabanov // Polish Geological Institute – National Research Institute. – Warszawa, 2017. – 129 p.
37. Šeiriene, V. Problems of the stratigraphy of the Pleistocene of Belarus and Lithuania in the light of new data / V. Šeiriene, T. Rylova, A. Karabanov, V. Baltrūnas, I. Savchenko, S. Demidova, B. Karmaza, D. Kisielienė // Geologija. – 2014. – Vol. 56, № 1 (85). – Р. 37–39.

References

1. Karabanov A. K. *Grodnenskaya ledorazdel'naya vozvyshennost'* (stroenie, rel'ef, etapy formirovaniya). Avtoref. diss. kand. geogr. nauk [Grodno ice-dividing hill (structure, relief, formation stages. Dr. geogr. sci. diss.]. Minsk, BSU Publ., 1983, 24 p. (in Russian)
2. Karabanov A. K. *Grodnenskaya vozvyshennost'. Hrestomatiya po fizicheskoy geografii BSSR* [Grodno Upland. Reading book on physical geography]. Minsk, 1989, pp. 219–221. (in Russian)
3. Levkov E. A., Karabanov A. K. *Neotektonicheskoe rajonirovanie territorii Belorussii* [Neotectonic zoning of the territory of Belarus]. Dokl. AN BSSR, 1987, vol. 31, no 9, pp. 821–824. (in Russian)
4. Levkov E. A., Karabanov A. K. *Metodika sostavleniya neotektonicheskoy karty. Tektonika zapada Vostochno-Evropejskoy platformy* [Method for compiling a neotectonic map. Tectonics of the West of the East European Platform; ed. R. G. Garetsky. Minsk, Science and technology Publ., 1990, pp. 10–12. (in Russian)
5. Levkov E. A., Karabanov A. K. *Rol' neotektoniki i oledeneniya v formirovaniyu hidrograficheskoy seti Belorussii. Geomorfologiya*, 1987, no 4, pp. 67–73. (in Russian)

6. Karabanov A. K., Levkov E. A., Monkevich K. N. *Istoriya razvitiya struktur zapada Vostochno-Europejskoj platformy. Kimmerijsko-al'pijskij (pozdnetriasovo-antropogenovoj) etap* [The history of the development of Western structures of the East European platform. Cimmerian-Alpine (Late Triassic-Anthropogenic) stage]. *Tektonika zapada Vostochno-Europejskoj platformy* [Tectonics of the West of the East European Platform]. Ed. R. G. Garetsky. Minsk, Science and technology Publ., 1990, pp. 113–121. (in Russian)
7. Karabanov A. K., Garetski R. G., Levkov E. A., Aizberg R. E. Zur neotektonischen Entwicklung des sudostlichen Ostseebeckens (Spatoligozan-Quartar). *Zeitschrift für geologischen Wissenschaften*, 1994, B. 22, H.1/2, pp. 271–274.
8. Levkov E. A., Karabanov A. K. *Neotektonika Belarusi* [Neotectonics of Belarus]. *Litasfera* 1995, no 1, pp. 119–126. (in Russian)
9. Levkov E. A., Karabanov A. K. O velichine ekzaracionnogo sreza v centre Skandinavskogo oledeneniya [On the size of the exaration slice in the center of the Scandinavian glaciation]. *Dokl. AN Belarusi* [Proc. of the Academy of Sciences of Belarus], 1994, vol. 38, no 1, pp. 95–97. (in Russian)
10. Karabanov A. K. *Neotektonika Belarusi. Avtoref. diss. ... dokt. geol.-min. nauk* [Neotectonics of Belarus. Dr. geol. and min. sci. diss.]. Minsk, 2002, 45 p. (in Russian)
11. Karabanov A. K., Levkov E. A. *Ozy vydvavlyaniya v Belorussii* [Extrusion Oz in Belarus]. *Dokl. AN BSSR* [Proc. of the Academy of Sciences of Belarus], 1990, vol. 34, no 6, pp. 547–549. (in Russian)
12. Levkov E. A., Karabanov A. K. *O prirode kraevyh lednikovyh obrazovanij landscape reserve Blue Lakes* [About the nature of the regional glacial formations of the landscape reserve Blue Lakes]. *Dokl. AN Belarusi* [Proc. of the Academy of Sciences of Belarus], 1992, vol. 36, no 3–4, pp. 237–239. (in Russian)
13. Matveyev A. V., Kudel'skij A. V., Ajzberg R. E., Najdenkov I. V., Karabanov A. K., Kapora M. C. *Radon v prirodnyh i tekhnogennych kompleksah Belarusi* [Radon in natural and technogenic complexes of Belarus]. *Litasfera = Lithosphere*, 1996, no 5, pp. 151–161. (in Russian)
14. Ajzberg R. E., Aronov A. G., Gareckij R. G., Karabanov A. K., Safronov O. N. *Sejsmotektonika Belarusi i Pribaltiki* [Seismotectonics of Belarus and the Baltic States]. *Litasfera = Lithosphere*, 1997, no 7, pp. 5–18. (in Russian)
15. *Novejshaya tektonika Severnoj Evrazii. Ob"yasnitel'naya zapiska k karte novejshei tektoniki Severnoj Evrazii masshtaba 1 : 5 000 000* [The latest tectonics of Northern Eurasia. Explanatory note to the map of the latest tectonics of Northern Eurasia, scale 1 : 5 000 000]. Moscow, 1998, 147 p. (in Russian)
16. Levkov E. A., Garetsky R. G., Karabanov A. K., Aizberg R. E. Neogeodynamics of Belarus. *Technika Poszukiwan Geologicznych. Geosynoptika i Geotermia*, 1995, no 3, pp. 23–30.
17. Sim L., Bryantseva G., Karabanov A., Aizberg R. The neotectonic stress of Belarus and the Baltic countries. *Technika Poszukiwan Geologicznych. Geosynoptika i Geotermia*, 1995, no 3, pp. 53–58.
18. Garetsky R. G., Aizberg R. E., Karabanov A. K., Kockel Franz, Ludwig Alfred O., Lykke-Andersen H., Ostaficzuk S., Palijenko V. P., Sim L. S., Sliaupa A. & Stackebrandt Werner. Neogeodynamics of the Baltic sea depression and adjacent areas. Results of IGCP project 346. Brandenburgische Geowissenschaftliche Beiträge, 2001, no 1, 47 p.
19. Ajzberg R. E., Gareckij R. E., Karabanov A. K. [et al.]. *Razlomy zemnoj kory Belarusi* [Faults of the Earth's crust of Belarus]. Ed. R. E. Ajzberg. Minsk, 2007, 371 p. (in Russian)
20. Pavlovskaya I., Karabanov A. Geological outline of the Quaternary in the Middle Neman area. Field symposium on Quaternary geology and geodynamics in Belarus. Excursion guide. Minsk, 2002, pp. 6–8.
21. Litvinuk G., Yelovicheva Ya., Pavlovskaya I., Karabanov A. Muravian (Eemian) and Poozerian (Weichselian) sequence at Bogatyrevichi. Field symposium on Quaternary geology and geodynamics in Belarus. Excursion guide. Minsk, 2002, pp. 14–19.
22. Karabanov A., Matveev A., Pavlovskaja I., Rylova T., Savchenko I. Some debatable problems of the Pleistocene stratigraphy of Belarus. 4 seminarium polsko-bialoruskie. Panstwowy Instytut Geologiczny. Warszawa, 2006, pp. 4–8.
23. Rylova T. B., Pavlovskaya I. E., Karabanov A. K. *O stratigraficheskem raschlenenii glyaciopleistocena Belarusi i kolichestve oledenenij. Problemy geologii Belarusi* [On the stratigraphic division of the glaciopleistocene of Belarus and the number of glaciations]. Minsk, 2005, pp. 51–54. (in Russian)
24. Karabanov A. K. *Verhneoligocen-chetvertichnye osadochnye formacii Belarusi. Stratigrafiya i paleontologiya geologiceskikh formacii Belarusi* [Upper Oligocene-Quaternary sedimentary formations of Belarus]. *Materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya A. V. Fursenko* [Proc. Int. Sci. Conf. to the 100th anniversary of A. V. Fursenko "Stratigraphy and paleontology of geological formations of Belarus"]. Minsk, 2003, pp. 149–151. (in Russian)
25. Karabanov A. K., Gareckij R. G., Ajzberg R. E. *Neotektonika i neogeodinamika zapada Vostochno-Europejskoj platformy* [Neotectonics and neo-geodynamics of the West of the East European Platform]. Minsk, 2009, 172 p. (in Russian)
26. Karabanov A. K., Gareckij R. G., Ajzberg R. E. *Neotektonika i neogeodinamika Belarusi* [Neotectonics and neogeodynamics of Belarus]. LAMBERT Academic Publishing. Saarbrucken, Germany, 2014, 252 p. (in Russian)
27. Adushkin V. V., Ajzberg R. E., Aronov A. G., Gareckij R. G., Karabanov A. K. [et al.] *Zemletryaseniya i mikrosejsmichnost' v zadachah sovremennoj geodinamiki Vostochno-Europejskoj platformy* [Earthquakes and microseismicity in the problems of modern geodynamics of the East European platform]. Ed. N. V. Sharova, A. A. Malovichko, Yu. K. Shchukina. Petrozavodsk, 2007. Book 1. Earthquakes, 381 p. Book 2. Microseismicity, 96 p. (in Russian)
28. Karabanov A. K., Il'kevich G. I., Badyaj V. V. *O novoj inzhenerno-geologicheskij karte g. Minska* [About the new engineering-geological map of Minsk]. *Aktual'nye problemy geologii i poiskov mestorozhdenij poleznyh iskopayemyh = Actual problems of geology and prospecting for mineral deposits*. Minsk, BSU, 2011, p. 62–64. (in Russian)
29. Matveyev A. V., Karabanov A. K., Avtushko M. I. *Radon v geologiceskikh kompleksah Belarusi* [Radon in geological complexes of Belarus]. Minsk, 2017, 136 p. (in Russian)
30. Karabanov A. K., Chunihin L. A., Drozdov D. N., Chekhovskij A. L., Zhuk I. V., Yaroshevich O. I., Konopel'ko M. V. *Karta radonovogo riska Belarusi* [Radon Risk Map of Belarus]. *Prirodnye resursy = Natural resources*, 2015, no 2, pp. 73–79. (in Russian)
31. Ajzberg R., Garetsky R., Karabanov A., Aronov A., Sofronov O. Seismotectonic of Belarus and the Baltic sea region. *Technika poszukiwań geologicznych. Geosynoptika i Geotermia*. Krakow, 1999, no 1 (195), pp. 28–37.

32. Aizberg R., Garetsky R., Karabanov A., Kockel R., Levkov E., Ludwig A. i dr. Neotectonic subdivision of the Baltic Sea depression and adjacent areas, scale 1 : 5. Mio Brandenburgische Wissenschaftliche Beiträge (Germany), 2001, B.8, H. 1, part II. Set of the neogeodynamic maps, map 2.
33. Gareckij R. G., Ajzberg R. E., Karabanov A. K., Palienko V. P., Shiyaupa A. I. Novejshaya tektonika i geodinamika Central'noj Evropy [The latest tectonics and geodynamics of Central Europe]. Geotektonika = Geotectonics, 1999, no 5, pp. 3–14. (in Russian)
34. Marks L., Karabanov A., Nitychoruk J., Bahdasarau M., Krzywicki T., Maecka A., Pochocka-Szwarc K., Rychel J., Woronko B., Zbucki Ł., Hradunova A., Hrychanik M., Mamchik S., Rylova T., Nowacki L., Pielach M. Revised limit of the Saalian ice sheet in central Europe. Quaternary International 478, 2018, pp. 59–74.
35. Geological map of Polish-Belarusian cross-border area Sokolka and Grodno region (Mapa geo-logiczna obszaru przygranicznego Polski i Białorusi, rejon Sokolki i Grodna). M 1 : 250 000. Ed. L. Marks, A. Karabanov. Państwowy Instytut Geologiczny. Warszawa, 2011.
36. Krzywicki T., Majecka A., Marks L., Nitychoruk J., Nowacki Ł., Pielach M., Pochocka-Szwarc K., Rychel J., Szymanek M., Woronko B., Zbucki Ł., Bogdasarau M., Hrachanik M., Gradunova A., Karabanov A. K., Mamchik S. O., Rylova T. B. Geological Map of South ernpart of Polish-Belarusian cross-border area. Biala Podlaska and Brest region 1: 250 000. Explanatory Text. Scientific Editors: L. Marks, A. K. Karabanov. Polish Geological Institute – National Research Institute. Warszawa, 2017, 129 p.
37. Šeiriene V., Rylova T., Karabanov A., Baltrūnas V., Savchenko I., Demidova S., Karmaza B., Kisielienė D. Problems of the stratigraphy of the Pleistocene of Belarus and Lithuania in the light of new data. Geologija, 2014, vol. 56, no 1 (85), pp. 37–39.

Информация об авторах

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

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

Айзберг Ромма Ефимович – чл.-корр., д-р геол.-мин. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: chistaya@nature.basnet.by

Кудельский Анатолий Викторович – член-корреспондент, д-р геол.-мин. наук, профессор. E-mail: ryabova@ecology.basnet.by

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

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

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

Information about the authors

Radim Garetsky – Academician, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: natali@nature.basnet.by

Aleksey Matveyev – Academician, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: matveyev@ecology.basnet.by

Romma Aizberg – Corresponding Member, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Chief Researcher, Institute of 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 Kudelsky – Corresponding Member, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor. E-mail: ryabova@ecology.basnet.by

Yaroslav Gribik – Ph. D. (Geology and Mineralogy), Head of Lab. of Geotectonics and Geophysics, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yaroslavgribik@tut.by

Halina A. Kamyshehka – Ph. D. (Technical), Scientific Secretary, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kamyshenka@tut.by

Valeriy S. Khomich – D. Sc. (Geography), Deputy Director on scientific work, Head of the Center for Urban Ecology and Transboundary Pollution, Institute of 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

ГЕОГРАФИЯ. ГЕОЭКОЛОГИЯ
GEOGRAPHY. GEOECOLOGY

УДК 551.583+574.45

Поступила в редакцию 26.03.2019

Received 26.03.2019

**ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ИХ СВЯЗЬ
С БИОПРОДУКТИВНОСТЬЮ НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

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

Institut prirodopользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Выполнен пространственно-временной анализ связи интегрального содержания водяного пара в атмосфере с аномалиями температуры поверхности слоя воды в экваториальной зоне Тихого океана. Показано, что зимой над сушей средних и высоких широт эта связь проявляется с задержкой не более месяца. Затяжные периоды с низкой интенсивностью Эль-Ниньо обусловливают тенденцию к уменьшению содержания водяного пара в атмосфере, объясняющую понижение зимней температуры воздуха в середине прошлого и начале текущего столетий. Непрекращающийся рост летней температуры воздуха в средних и высоких широтах с конца 1960-х годов, вероятно, связан с влиянием следующих факторов: 1) положительная обратная связь между температурой и содержанием водяного пара в атмосфере; 2) очищение атмосферы от аэрозолей в результате снижения вулканической активности и проведения природоохранных мероприятий во многих развитых странах; 3) уменьшение оптической толщины облаков.

Оценено влияние современных изменений климата на биопродуктивность наземных экосистем Беларусь. Показано, что главным фактором межгодовой изменчивости биопродуктивности обрабатываемых земель является количество осадков в вегетационный период, определяющее свыше 60 % дисперсии их вегетационного индекса. Долгопериодные изменения вегетационного индекса обусловлены интенсивным потеплением воздуха при практически неизменном количестве осадков. При сохранении наблюдаемых климатических тенденций биопродуктивность обрабатываемых земель Беларусь к середине текущего столетия может снизиться более чем на 20 % по сравнению с началом 2000-х годов. Негативное влияние изменений климата на биопродуктивность неосвоенных земель Беларусь незначительно в сравнении с положительным биосферным эффектом от повышения уровня углекислого газа в атмосфере.

Ключевые слова: изменение климата; южная осцилляция; водяной пар; аэрозоли; облачность; наземные экосистемы; биопродуктивность.

Для цитирования. Логинов В. Ф., Лысенко С. А., Бондаренко Ю. А., Бровка Ю. А. Глобальные и региональные изменения климата и их связь с биопродуктивностью наземных экосистем // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 20–31.

**GLOBAL AND REGIONAL CLIMATE CHANGES AND THEIR RELATIONS
WITH TERRESTRIAL ECOSYSTEMS BIOPRODUCTIVITY**

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

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

Abstract. We perform spatial and temporal analysis of relation between water vapour content and equatorial Pacific surface temperature anomalies. This ocean area impacts on the temperature of air over land in the middle and high north latitudes with a nearly one-month delay in winter. Prolonged periods with a low intensity of El Niño events facilitate the negative trend in the water vapour content in the atmosphere, which explains episodes of winter air cooling in the middle of the past century and in the beginning of the present century. Constant temperature growth in middle and high latitudes since 1960s with high probability is shown to be caused by the following factors: 1) positive feedback between temperature and water vapour content; 2) purification of the atmosphere from aerosol pollutions due to decrease in volcanic activity and environmental measures taken in many developed countries; 3) decrease in cloud optical thickness.

Impact of modern climate change on bio-productivity of terrestrial (over land) ecosystems in Belarus has been estimated. We have shown that the main reason of inter-annual variations in bio-productivity of arable lands is amount of precipitation in growing season, which defines more than 60 % of variance in vegetation index values. Long-period

changes in vegetation index values are caused by intense air warming, while amount of precipitation practically remains on the same level. If the current trends in climate change preserve, bio-productivity of arable lands in Belarus will decrease by 20 % in the middle of present century comparing to the level of early 2000s. Negative impact of climate change on bio-productivity of non-cultivated lands in Belarus is insignificant comparing to the positive effect of increase in CO₂ content in the atmosphere.

Keywords: climate change; Southern Oscillation; water vapour; aerosols; cloudiness; terrestrial (land) ecosystems; bio-productivity.

For citation. Loginov V. F., Lysenko S. A., Bondarenko Yu. A., Brovka Yu. A. Global and regional climate change and its relationship to terrestrial ecosystem bioproductivity. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 20–31.

Введение. Европейские страны в текущем столетии часто сталкиваются с последствиями неблагоприятных изменений климата, особенно в летние месяцы. Увеличение частоты и продолжительности жарких периодов с дефицитом осадков, нарушающих гидрологический режим почв, увеличение риска возникновения лесных пожаров, значительные потери урожаев сельскохозяйственных культур от засух, обострение сердечно-сосудистых заболеваний и увеличение общей смертности населения от длительных волн тепла – лишь некоторые из наиболее ощутимых последствий потепления климата в Европе.

Согласно данным Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды, среднегодовая температура воздуха в Европе растет со скоростью около 0,44 °C / 10 лет, что более чем в 2,0 раза превышает темпы среднеглобального потепления. Летом в отдельных регионах Европы скорость потепления достигает 1 °C / 10 лет. Одновременно с этим на территории Европы, особенно в регионах, расположенных ниже 60° с. ш., отмечается уменьшение среднего количества осадков в теплый период года, наиболее выраженное летом.

В Беларуси средняя температура воздуха летом увеличивается приблизительно на 0,64 °C каждые 10 лет примерно с 1975 г., что сравнимо с увеличением среднегодовой температуры Земного шара за весь XX в. Особое опасение вызывает тот факт, что интенсивное потепление воздуха происходит при практически неизменном количестве осадков, а в восточной части Беларуси наблюдается даже небольшое снижение количества осадков в летние месяцы. В результате таких изменений климата ухудшается гидрологический режим территории и возрастает риск потерять урожая сельскохозяйственных культур, традиционно выращиваемых в Беларуси.

С другой стороны, рост содержания углекислого газа (CO₂) в атмосфере и изменение климата неизбежно влечут за собой изменения видового разнообразия и биопродуктивности наземных экосистем, в том числе и агроценозов. Биосферный эффект увеличения содержания CO₂ в воздухе состоит в усилении процесса фотосинтеза у растений и в целом способствует росту общей надземной биомассы [1, 2]. Изменения климата, проявляющиеся на региональном уровне в изменении продолжительности вегетационного периода, тепловых и влажностных условий региона, могут оказывать как стимулирующий, так и угнетающий эффект на рост растений [2–5]. Совместный биосферный эффект отмеченных факторов зависит от особенностей местного климата, физико-химических характеристик почвы и вида растительности.

В количественных оценках влияния климата на биопродуктивность наземных экосистем и урожайность сельскохозяйственных культур, встречающихся в мировой научной литературе, существует большая неопределенность, причем не только по величине, но и по знаку. В большинстве публикаций по данной проблематике рассматриваются глобальные аспекты взаимодействия климата и наземных экосистем. Однако при переходе от глобального к региональному уровню исследований атмосферно-биосферных связей начинает проявляться высокая пространственная неоднородность биофизических свойств подстилающей поверхности, а также условий ее обеспечения ресурсами тепла и влаги.

Ниже рассматриваются внешние и внутренние факторы глобальных и региональных изменений современного климата. С использованием модели переноса излучения в системе атмосфера–подстилающая поверхность, данных дистанционного зондирования Земли и реанализа определены естественные механизмы замедления скорости роста температуры Земного шара. Оценено влияние изменчивости и изменений современного климата на биопродуктивность экосистем Беларуси.

Результаты исследований. Особенности и возможные причины современных изменений температуры воздуха над континентами Северного полушария. На протяжении последнего столетия характер изменения глобальной и региональной температуры в различные сезоны года существенно различался. Если в период предыдущего потепления климата, известного из литературы как «период потепления Арктики» (1924–1944 гг.), рост температуры наблюдался особенно ярко в теплое время года, то начиная с конца 1960-х и до конца 1990-х годов наибольший рост температуры отмечался зимой [6–8].

Потепление зимнего типа хорошо укладывается в современные представления об изменениях климата, согласно которым зимой глобальное потепление должно усиливаться положительной обратной связью между температурой воздуха и альбедо подстилающей поверхности. Однако в последние 15–20 лет, наоборот, происходит быстрый рост летних температур, а зимняя температура растет сравнительно слабо, т. е. снова формируется потепление летнего типа. С 1998 по 2014 г. зимняя температура воздуха над континентами Северного полушария даже понижалась со средней скоростью $-0,038$ К/год, а снежный покров увеличивался со скоростью $1,4 \cdot 10^5$ км 2 / год (рис. 1).

Для понимания причин изменений зимней температуры воздуха над сушей Северного полушария рассмотрим особенности формирования радиационного баланса для региона Сибири, в котором с 1998 по 2014 г. наблюдалось наибольшее понижение температуры приземного воздуха в зимние месяцы. Радиационный баланс на верхней границе атмосферы представлен как данными измерений спутниковой системой CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System), так и результатами его численного моделирования. В качестве основы для моделирования использовались данные спутникового спектрорадиометра MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) для рассматриваемого региона в зимние месяцы. Для сопоставления этих данных с аномалиями температуры земной поверхности измеряемый коротковолновой поток удобно представить в виде поглощаемой солнечной радиации (падающая минус отраженная), а длинноволновой поток – в виде яркостной температуры. Последняя рассчитывается по формуле Планка как температура абсолютно черного тела, светимость которого эквивалентна потоку длинноволнового излучения на верхней границе атмосферы. Аномалии радиационных характеристик системы атмосфера–подстилающая поверхность рассчитывались относительно их средних значений за весь период измерений.

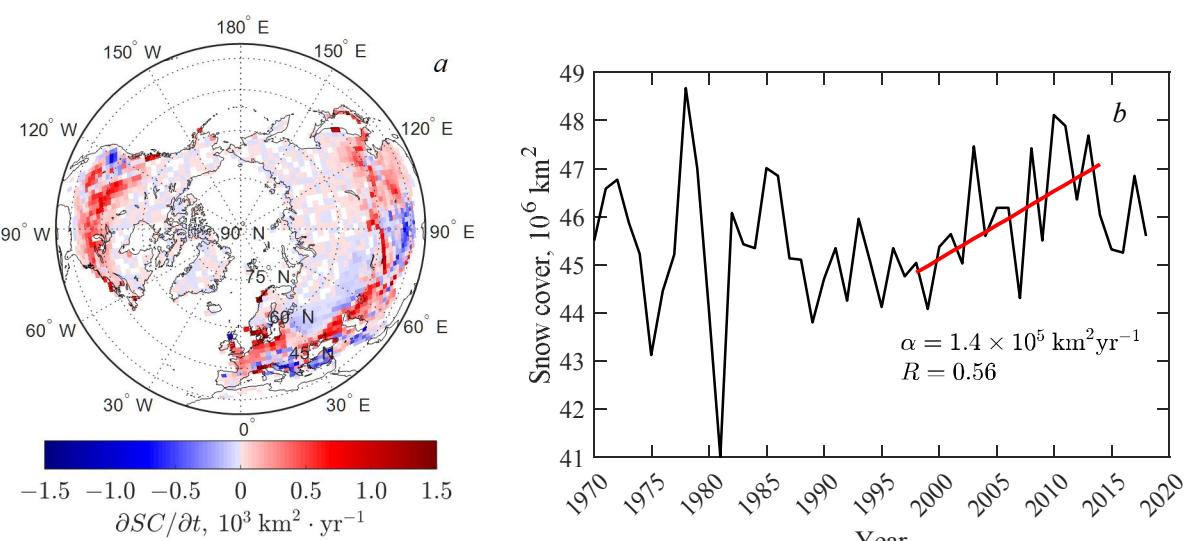


Рис. 1. Карта тренда снежного покрова материков Северного полушария (а) и временная динамика их суммарного снежного покрытия (б) с декабря по январь в период 1998–2014 гг. по данным NOAA (National Centers for Environmental Information)

Fig. 1. Map of snow cover trend in continents of the Northern hemisphere (a) and time dynamics of total snow cover on them (b) from December to January in 1998–2014 NOAA database (National Centers for Environmental Information)

В расчетах радиационного баланса учитывалась временная динамика интегрального содержания водяного пара в атмосфере (TCWV), оптических и микрофизических параметров облаков. Альбено подстилающей поверхности задавалось таким же, как и для снега, с эффективным размером гранул около 82 мкм [9]. Температура подстилающей поверхности принята равной -5 °С. Профили температуры воздуха и концентраций атмосферных газов соответствовали стандартной модели атмосферы для зимы средних широт. Параметры линий поглощения атмосферных газов, используемые в расчетах их показателей поглощения, взяты из спектроскопической базы данных HITRAN [10]. Контигуальное (неселективное) поглощение атмосферных газов (водяного пара, CO₂, N₂, O₂) описывается эмпирической моделью MT_CKD [11]. Оптические характеристики аэрозоля соответствовали его глобальной фоновой модели, предложенной в работе [12]. Оптические характеристики водяных облачек рассчитывали по формулам теории Ми [13]. Оптические характеристики облаков, состоящих из

ледяных кристаллов, вычисляли в зависимости от эффективного размера кристаллов и плотности льда в облаке на основе аналитических параметризаций, полученных в работе [14].

Временные ряды аномалии зимней температуры, радиационного баланса и общего содержания водяного пара в атмосфере сопоставлены на рис. 2. Коэффициент корреляции между зимней температурой воздуха и радиационным балансом на верхней границе атмосферы составляет 0,86 для спутниковых данных и 0,85 для данных моделирования. Расчеты по переносу излучения в атмосфере с учетом межгодовой изменчивости TCWV и параметров облаков показывают, что на долю TCWV приходится около 85 % дисперсии радиационного баланса. Это также подтверждается достаточно высокой корреляцией TCWV с зимней температурой воздуха в рассматриваемом регионе (коэффициент корреляции – 0,71).

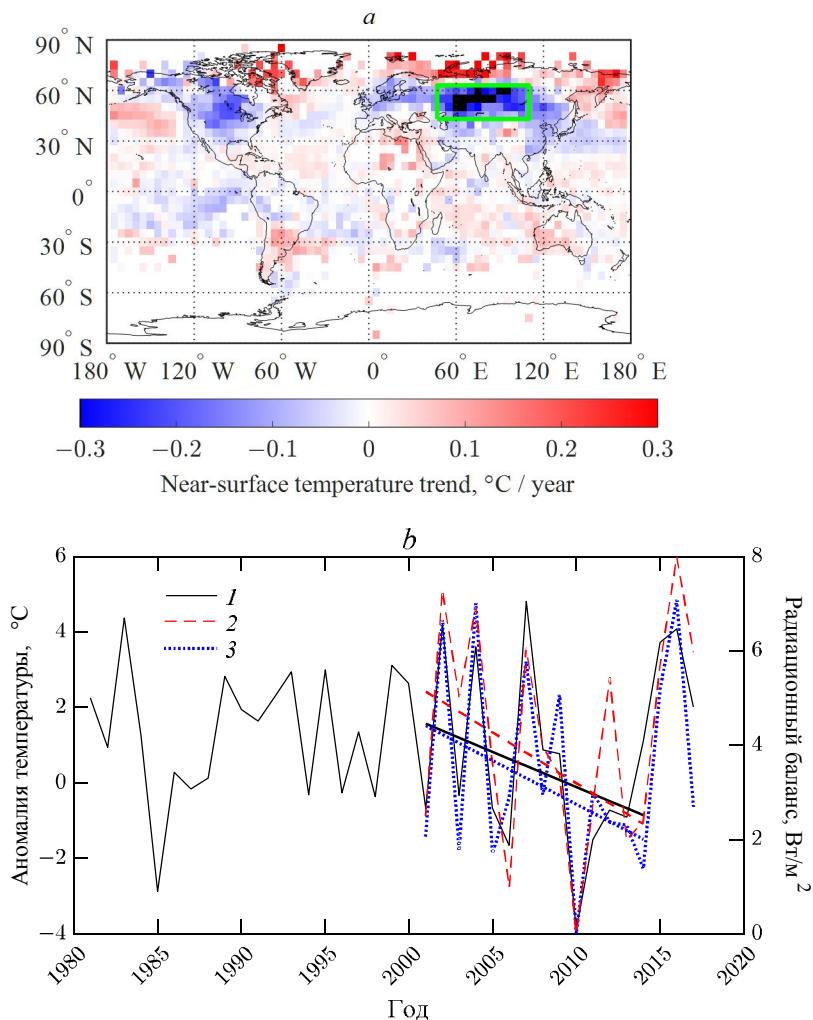


Рис. 2. Карта тренда температуры приземного воздуха в период 1998–2014 гг. (а) и сопоставление средних за январь и февраль значений температуры приземного воздуха в регионе, выделенном на верхнем рисунке прямоугольником, с радиационным балансом на верхней границе атмосферы, измеренным спутниковой системой CERES и рассчитанным по модели переноса излучения в атмосфере (б)

Fig. 2. Map of the surface air temperature trend in 1998–2014 (a) and comparison of average January and February surface air temperature values in the region highlighted in the upper figure by the rectangle, combined with radiation balance at the upper atmospheric boundary, measured by the CERES satellite and calculated from the atmospheric radiation transport model (b)

Если сопоставить скорости изменения зимней температуры приземного воздуха за периоды 1968–1998 и 1998–2013 гг. на всей территории Земного шара, то можно обнаружить, что с 1998 г. произошла смена тенденций изменений температуры во многих крупных регионах Северного полушария Земли (быстрый рост зимней температуры сменился столь же быстрым ее понижением). Коэффициент пространственной корреляции между скоростями изменений зимней температуры в Северном полушарии для указанных двух периодов составляет –0,62, что говорит о неслучайном характере этих изменений. Можно предположить, что такая инверсия тенденции изменения зимней темпе-

ратуры воздуха на территории Северного полушария является следствием смены фазы некоторого глобального процесса в климатической системе. В связи с этим рассмотрим связь TCWV с одним из наиболее энергоемких циклических процессов в климате Земли – Эль-Ниньо–Южной осцилляцией (ENSO).

Корреляции между среднемесячными индексами Южной осцилляции Niño 3.4 и TCWV рассчитывались при их сдвиге во времени от 0 до 24 месяцев. Расчеты показали, что для суши средних и высоких широт Северного полушария ($30\text{--}75^\circ\text{ с. ш.}$) наиболее тесные корреляции между Niño 3.4 и TCWV проявляются в зимние месяцы с отставанием от фазы Niño 3.4 не более месяца. Зимние значения TCWV для суши широтного пояса $30\text{--}75^\circ\text{ с. ш.}$, полученные на основе реанализа ERA-Interim, сопоставлены с индексом Niño 3.4 на рис. 3, а. Видно, что изменения TCWV происходят в фазе с Niño 3.4. Коэффициент корреляции между ними $R = 0,61$, т. е. изменения индекса Niño 3.4 объясняют около 40 % дисперсии TCWV.

Если сопоставить данные реанализа NCEP, охватывающего более длинный временной ряд, чем реанализ ERA-Interim, с индексом Многолетней Тихоокеанской осцилляции IPO, характеризующим асимметрию температурной аномалии в экваториальной и внетропических частях Тихого океана (рис. 3, б), то можно заметить, что для суши широтного пояса $30\text{--}75^\circ\text{ с. ш.}$ периоды понижения TCWV (1948–1968, 1998–2013 гг.) примерно совпадают с отрицательными фазами IPO. Понижение TCWV в указанные периоды, очевидно, приводило к ослаблению парникового эффекта водяного пара и к замедлению роста зимней температуры воздуха над континентами. С 1968 по 1998 г. содержание водяного пара в атмосфере над сушей средних и высоких широт медленно повышалось на фоне положительной фазы IPO, что наряду с увеличением концентрации CO₂ и других антропогенных парниковых газов обусловливала рост приземной температуры воздуха.

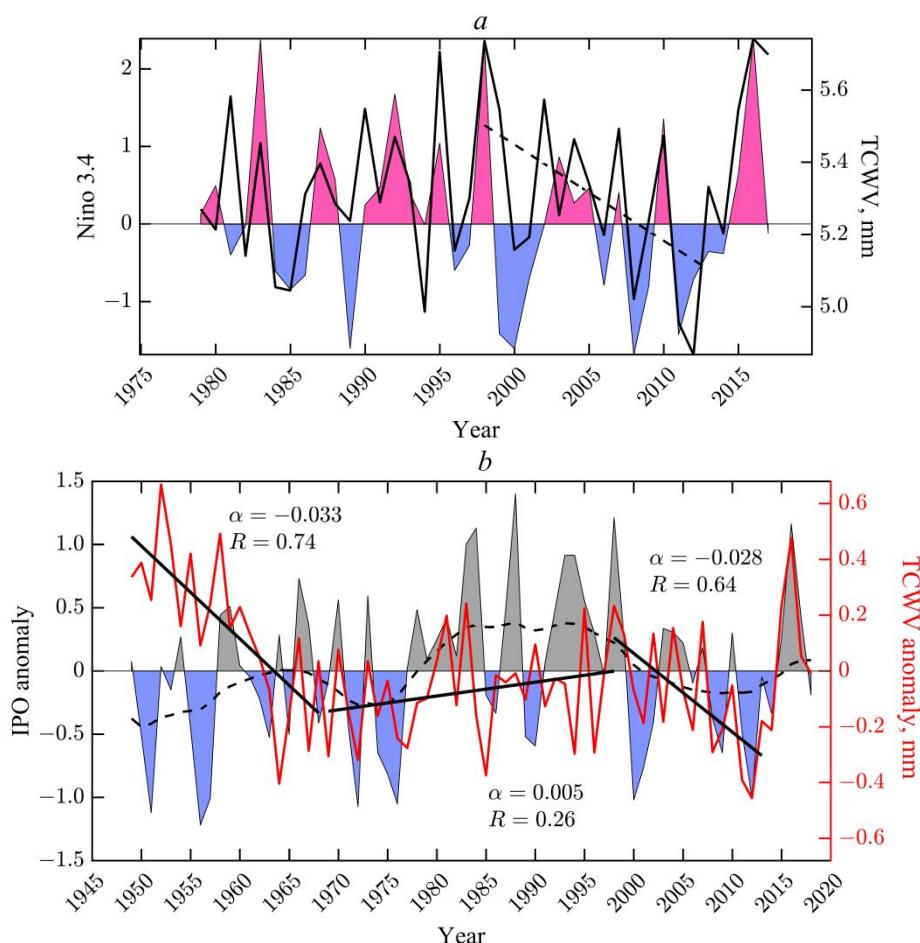


Рис. 3. Сопоставление средних значений TCWV из реанализов ERA-Interim (а) и NCEP (б) с индексами Южной осцилляции – Niño 3.4 (а) и IPO (б)

Fig. 3. Comparison of average TCWV values from reanalysis ERA-Interim (a) and NCEP (b) with Southern Oscillation indices – Niño 3.4 (a) and IPO (b)

Естественные процессы, способствовавшие замедлению темпов роста температуры Земного шара с 1998 по 2014 г., исследованы в нашей работе [15]. На основе данных дистанционного зондирования Земли и реанализа показано, что замедление темпов глобального потепления с 1998 по 2014 г. могло быть следствием уменьшения испарения в тропической зоне Тихого океана. Усиление приземного ветра в тропической зоне Тихого океана наблюдается примерно с 1980 г. (коэффициент линейного тренда $0,017 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}/\text{год}$), причем наибольшее усиление ветра приходится на период с 1992 по 2013 г. ($0,025 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}/\text{год}$). В эти годы температура поверхностного слоя воды в центрально- и восточно-экваториальной зоне Тихого океана понижалась со скоростью $0,024 \text{ К}/\text{год}$, а глубинные воды на западе Тихого океана (к северу от экватора) накапливали тепло. Указанные тенденции способствовали уменьшению испарения с поверхности Тихого океана, которое с задержкой около года сказывается на глобальном содержании водяного пара в атмосфере (рис. 4). В результате среднее по планете содержание водяного пара в столбе атмосферы понижалось до 2014 г. со средней скоростью $0,12 \text{ мм}/\text{год}$ (данные спутникового спектрорадиометра MODIS). Расчеты модели переноса излучения в атмосфере показывают, что уменьшение интегрального содержания водяного пара в столбе атмосферы с 2001 по 2014 г. снизило приходную часть радиационного баланса подстилающей поверхности примерно на $0,93 \text{ Вт}/\text{м}^2$, что более чем в 11,0 раз превышает усиление парникового воздействия CO_2 за этот период. Такие тенденции изменений содержаний парниковых газов в атмосфере обусловливали понижение зимней температуры воздуха в Северном полушарии. Падение суммарного радиационного форсинга парниковых газов объясняет понижение температуры воздуха в зимние месяцы. Что касается летней температуры воздуха, то ее понижение в отмеченный период могло сдерживаться дополнительным поступлением солнечной радиации к подстилающей поверхности в результате уменьшения оптической толщины облаков в широтном поясе $30^\circ\text{--}75^\circ \text{ с. ш.}$ [16].

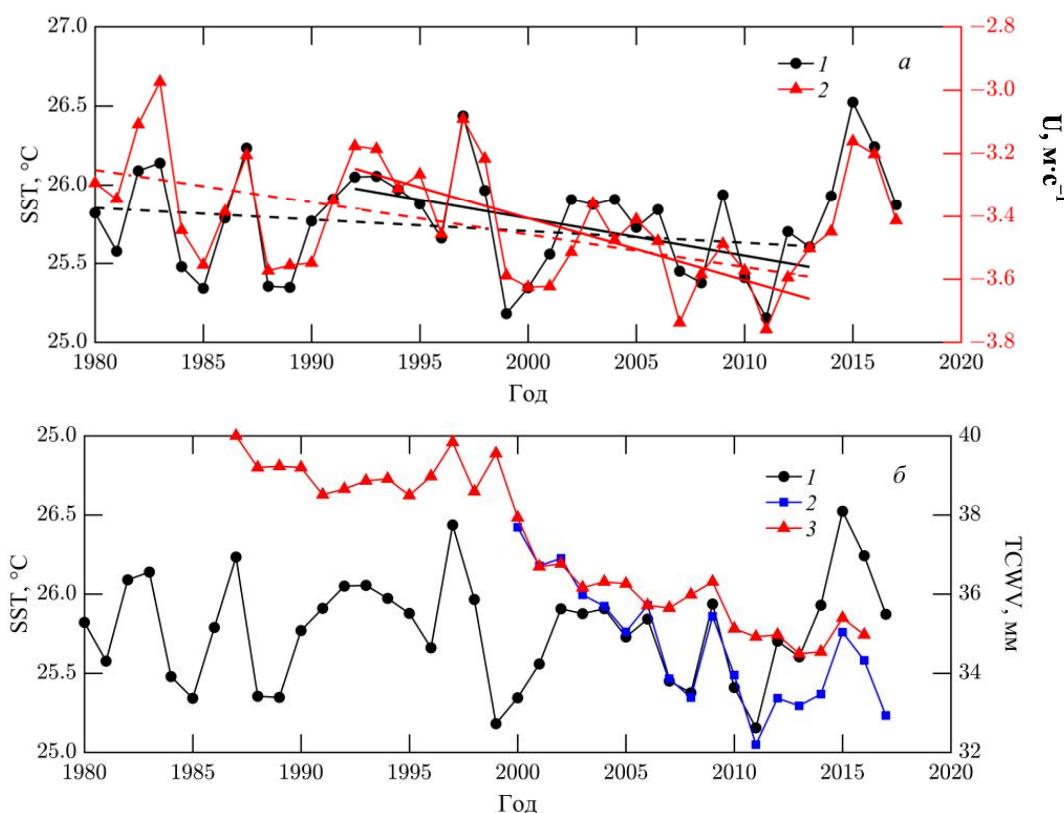


Рис. 4. Межгодовая изменчивость температуры океана SST, зональной компоненты скорости приповерхностного ветра (U) в направлении с запада на восток и TCWV; а: 1 – SST, 2 – U , прямые линии – тренды за 1992–2013 гг., пунктир – тренды за 1980–2013 гг.; б: 1 – SST, 2 – TCWV в летние месяцы над тропической зоной Тихого океана с отрицательным трендом SST, 3 – глобальные значения TCWV, умноженные на коэффициент 1,6 и сдвинутые на один год назад для их сопоставления с TCWV над тропиками

Fig. 4. Inter-annual variability of SST ocean surface temperature, zonal component of surface wind velocity (U) and TCWV; a: 1 – SST, 2 – U , direct lines – trends for 1992–2013, dotted lines – trends for 1980–2013 ; б: 1 – SST, 2 – TCWV in the summer months over the tropical Pacific with a negative SST trend, 3 – global TCWV averages multiplied by a factor of 1,6 and shifted one year ago for their comparison with TCWV over the tropics

Важно заметить, что на фоне циклической смены фаз IPO не наблюдается смена тенденций изменений летней температуры воздуха. Причиной этому может быть положительная обратная связь между температурой воздуха и содержанием водяного пара в атмосфере, наиболее отчетливо проявляющаяся при высоких температурах. Известно, что потепление тропосферы происходит при практически неизменной относительной влажности [17]. Поддержание одного и того же уровня относительной влажности при увеличении температуры воздуха и соответствующего ей давления насыщенного водяного пара возможно только за счет увеличения концентрации водяного пара в атмосфере. Поскольку температурная зависимость давления насыщенного водяного пара усиливается с ростом самой температуры, то летом рост влагоемкости воздуха происходит быстрее, чем зимой, соответственно, большим будет и усиление водяным паром парникового эффекта.

Другим фактором, обуславливающим различие скоростей изменения зимней и летней температур воздуха, может быть аэрозольное загрязнение атмосферы. Природоохранные мероприятия, проводимые в последние десятилетия во многих развитых странах, наряду с повышением экологического уровня промышленности и автотранспорта способствуют снижению аэрозольной эмиссии. Это, в свою очередь, способствует увеличению количества поступающего на Землю солнечного излучения и дневному прогреванию подстилающей поверхности. На территории Европы, где, как минимум с 2000 г., происходит очищение атмосферы от аэрозолей (о чем свидетельствуют данные спутникового спектрорадиометра MODIS), скорость роста температуры приземного воздуха летом в дневное время действительно опережает скорость роста ночной температуры – 0,041 К/год против 0,035 К/год, что говорит о важной роли солнечной радиации в летнем потеплении.

Одним из последствий очищения атмосферы от аэрозолей, служащих ядрами конденсации, может быть уменьшение количества облаков и их оптической толщины. Если судить по данным спутникового прибора MODIS, определяющего оптические и микрофизические параметры облаков с 2000 г., то оптическая толщина облаков – их важнейший радиационный параметр – в средних и высоких широтах Северного полушария устойчиво уменьшается, а значит, на Землю поступает больше солнечной радиации. Это согласуется с данными реанализа ERA-Interim, демонстрирующими положительный линейный тренд потока нисходящего солнечного излучения на нижней границе атмосферы, причем отклонения потока солнечного излучения от этого тренда для суши широтного пояса 30°–75° с. ш. отрицательно коррелируют с произведением оптической толщины облаков и степени покрытия ими атмосферы.

Климатообусловленные изменения наземных экосистем Беларуси. Анализ спутниковых измерений вегетационного индекса подстилающей поверхности NDVI в текущем столетии показывает, что примерно на 84 % площади Беларуси NDVI возрастает, причем на 37 % площади этот рост является статистически значимым. По расчетам современных компьютерных моделей глобальной динамики экосистем, увеличение листового покрытия планеты за период с 1982 по 2009 г. на $70,1 \pm 29,4$ % объясняется эффектом увеличения концентрации CO₂ в атмосфере [2]. Эксперименты с растениями в теплицах и замкнутых камерах показывают, что при увеличении содержания в воздухе CO₂ до значений около 800–1000 ppm интенсивность фотосинтеза растет [1]. Однако из-за нехватки элементов минерального питания и дефицита влаги насыщение растительности углеродом может происходить и при более низких концентрациях CO₂, что ограничивает возможности растительности по противодействию росту концентрации CO₂ [18–20].

Неблагоприятные метеорологические явления, такие как заморозки и засухи, частота которых возрастает с глобальным потеплением, также оказывают негативное влияние на рост растений и урожайность сельскохозяйственных культур. С 1982 по 2012 г. число дней с заморозками в Северном полушарии выше 30° с. ш. возросло примерно на 43 %. На территории Европы это увеличение составило около 82 % ($2,8 \pm 4,6$ дней/год), причем основной рост пришелся на весеннюю часть вегетационного периода ($2,7 \pm 3,3$ дней/год) [21].

Раннее наступление вегетационного периода в средних и высоких широтах тоже далеко не всегда положительно сказывается на первичной биологической продуктивности. Результаты наблюдений за продуктивностью растительных сообществ в глобальной наземной сети FLUXNET и с ряда искусственных спутников Земли не подтверждают наличие положительной связи между активной ранней вегетацией северных растений и их биологической продуктивностью летом и осенью [5]. В регионах выше 30° с. ш. положительный эффект ранней вегетации проявляется только на 5 % площади суши. Причиной этого, по-видимому, является раннее потребление растениями запасов почвенной влаги, необходимой им для противодействия негативному влиянию длительных волн тепла и засух в летние месяцы.

Еще более существенные ограничения на фотосинтез накладывает дефицит влаги. В настоящее время этот фактор сдерживает рост растений на большей части суши, а площадь северных регионов, в которых рост растений ограничивается низкими температурами, стремительно сокращается

[22]. Расчеты глобальных климатических моделей последнего поколения (CMIP5), несмотря на большую неопределенность их климатических проекций, прогнозируют статистически значимое усиление засушливости климата в глобальном масштабе при всех сценариях развития парникового эффекта к концу текущего столетия [23]. Однако существуют гипотезы, что негативное влияние засушливости климата на продуктивность растений в некоторой степени будет компенсироваться их лучшим снабжением углекислым газом, необходимым им для фотосинтеза. У многих растений открытие устьиц (микроотверстий в листьях, через которые происходит испарение и газообмен с окружающей средой) зависит в первую очередь от содержания CO₂ в воздухе. Чем больше в атмосфере CO₂, тем меньше растениям требуется открывать устьица для получения необходимого для фотосинтеза количества CO₂. Параллельно с этим замедляется и транспирация – испарение листьями воды, а значит, растениям в условиях роста содержания CO₂ в атмосфере с каждым годом будет требоваться все меньше воды для производства одной и той же массы органических веществ путем фотосинтеза.

Учет в климатических моделях отмеченных физиологических процессов растений снижает оценочные масштабы засух к концу текущего столетия примерно на 37 %, по сравнению с прогнозами, основанными лишь на расчетах метеорологических (атмосферных) условий будущего климата [23]. В этом случае сильные засухи ожидаются не во всей Европе, а только в ее южных районах. В то же время снижение транспирации в условиях повышенного содержания CO₂ в воздухе сопровождается повышением температуры растений и почвы, что может нивелировать положительное влияние выбросов CO₂ в атмосферу на биологическую продуктивность экосистем [25].

Для исследования пространственных особенностей межгодовой изменчивости и долгопериодных изменений климата на территории Беларуси использовался сеточный архив метеорологических данных, разработанный в Институте природопользования НАН Беларуси на основе интерполяции данных метеорологических наблюдений в Беларуси и соседних государствах методом обыкновенного кригинга [28]. Анализ корреляций между NDVI, солнечной радиацией, температурой воздуха и количеством осадков, усредненными за наиболее активную часть вегетационного периода (май–август), показывает, что на территории Беларуси главным фактором изменчивости NDVI является количество осадков (рис. 5). Наиболее тесная корреляция NDVI и осадков характерна для территорий сельскохозяйственного назначения.

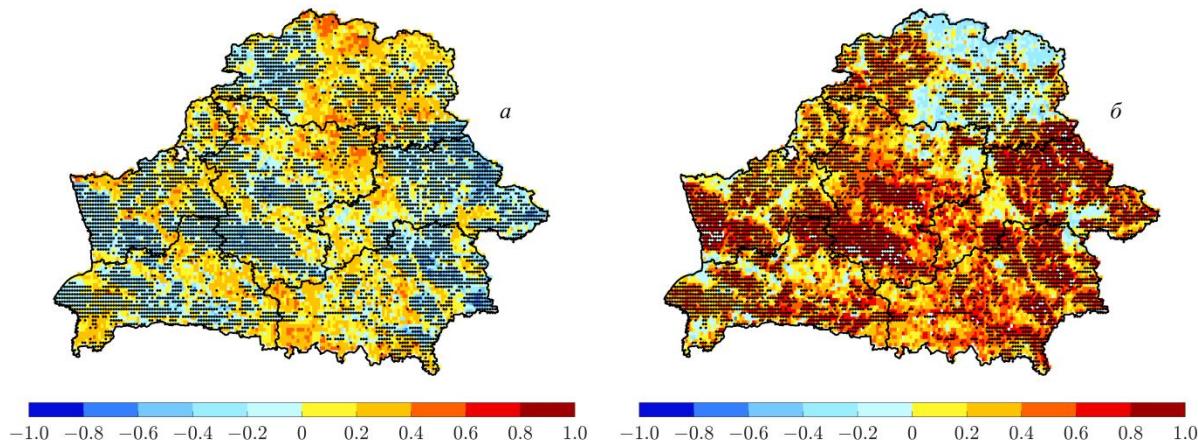


Рис. 5. Карты коэффициентов корреляции между отклонениями от линейных трендов NDVI и метеорологических параметров: средней температуре воздуха (а) и количества осадков (б) с мая по август; точками обозначены пашни и сельскохозяйственные угодья

Fig. 5. Maps of correlation coefficients between deviations from linear NDVI trends and trends of meteorological parameters: average air temperature (a) and rainfall / precipitation (b) from May to August; cultivated lands marked with dots

Долгопериодные компоненты (тренды) NDVI обусловлены как характером изменения климата, так и антропогенными факторами, в том числе и выбросами CO₂ в атмосферу. Для исследования влияния долгопериодных изменений климата на продуктивность растительных экосистем Беларуси нами построены уравнения множественной регрессии между NDVI и метеорологическими параметрами для всей территории Беларуси с пространственным разрешением около 500 м. Полагалось, что коэффициенты линейной регрессионной зависимости NDVI от метеорологических параметров характеризуют чувствительность NDVI к этим параметрам. Климатическую составляющую тренда NDVI рассчитывали на основе локальных трендов метеопараметров и предварительно установленных чув-

ствительностей NDVI к этим параметрам. Вклад антропогенных факторов в систематическое изменение биопродуктивности оценивали вычитанием из наблюдаемых трендов NDVI их климатообусловленных компонент. При этом в расчетах не принимали во внимание экстремальные погодные явления, имеющие узко локализованный характер проявления (урagan, град, заморозки и пр.) и не демонстрирующие четкой тенденции в частоте их возникновения.

Составляющая тренда NDVI, обусловленная комплексным влиянием температуры воздуха, количества осадков и солнечной радиацией, приведена на рис. 6 для двух периодов: 1975–2000 и 2000–2017 гг. Видно, что на землях сельскохозяйственного назначения изменения климата в основном приводят к снижению фотосинтетически активной биомассы, что связано с быстрым ростом температуры воздуха при практически неизменном количестве осадков в вегетационный период. При этом отрицательное влияние изменений климата на биопродуктивность сельскохозяйственных земель со временем усиливается: если до 2000 г. негативное влияние изменений климата в основном проявлялось в западной части Беларуси, то с 2000 г. этому влиянию стал подвержен и восток страны. При сохранении наблюдаемых климатических тенденций биопродуктивность сельскохозяйственных земель во многих регионах Беларуси к середине текущего столетия может снизиться более чем на 20 % по сравнению с началом 2000-х годов.

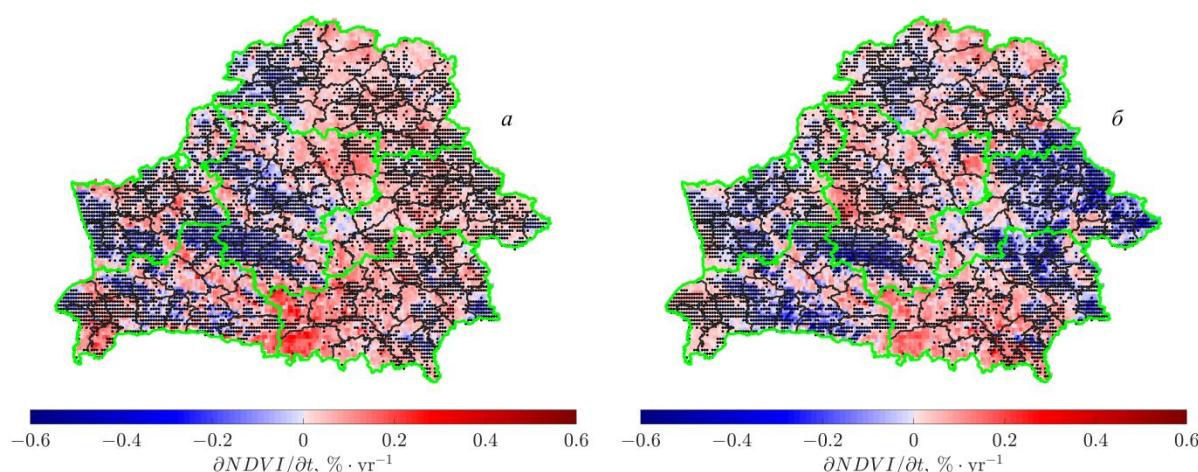


Рис. 6. Климатообусловленные составляющие тренда NDVI за периоды 1975–2000 гг. (а) и 2000–2018 гг. (б); точками обозначены сельскохозяйственные угодья

Fig. 6. Climate-related components of the trend NDVI for 1975–2000 (a) and 2000–2018 (b); the dots indicate cultivated lands

Что касается лесных массивов Беларуси, то они в целом положительно реагируют на изменения климата. Как видно из рис. 6, биопродуктивность неосвоенных земель Беларуси в результате изменений климата преимущественно повышается, что, вероятно, связано с лучшей способностью крупных экосистем удерживать влагу по сравнению с растительностью пашни. Важно отметить, что фактический рост биопродуктивности неосвоенных территорий Республики Беларусь происходит гораздо быстрее, чем это предсказывается на основе тенденций изменений температуры воздуха и количества осадков. По-видимому, главной причиной увеличения биопродуктивности этих территорий является возрастающий уровень CO₂ в воздухе и лучшая обеспеченность растений этим газом в процессе фотосинтеза. Этот вывод также согласуется с расчетами компьютерных моделей глобальной динамики экосистем [2], отводящих климату лишь около 8 % увеличения листового покрытия Земли за период с 1982 по 2009 г.

Выводы. Особенности современных изменений зимней температуры воздуха над сушей средних и высоких широт Северного полушария во многом связаны с цикличностью аномалии температуры поверхности слоя воды в экваториальной зоне Тихого океана. Влияние Тихого океана на температуру воздуха над континентами передается посредством эффекта модуляции океаном интегрального содержания водяного пара в атмосфере. Задержка между индексом Niño 3.4 и интегральным содержанием водяного пара над континентами широтного пояса 30°–75° с. ш. составляет менее месяца, а коэффициент корреляции – около 0,61.

В периоды с низкой частотой Эль-Ниньо (теплой фазой Многолетней Тихоокеанской осцилляции) содержание водяного пара над сушей средних и высоких широт Северного полушария понижается

ется, а вместе с ним ослабевает и общий парниковый эффект атмосферы, что приводит к замедлению скорости роста зимней температуры воздуха или даже к ее понижению. Вероятно, именно с этими эпизодами связана смена тенденций изменения зимней температуры воздуха в Северном полушарии в конце 1960-х и в конце 1990-х годов.

Стабильный рост летней температуры воздуха в средних и высоких широтах Северного полушария, происходящий с конца 1960-х годов на фоне смены фаз Многолетней Тихоокеанской осцилляции, можно объяснить несколькими причинами, из которых наибольшего внимания заслуживают: 1) зависимость содержания водяного пара в атмосфере от температуры воздуха; 2) очищение атмосферы от аэрозолей в результате снижения вулканической активности и проведения природоохранных мероприятий во многих развитых странах; 3) уменьшение оптической толщины облаков. Более точное объяснение различий в скоростях изменений зимней и летней температур воздуха может быть дано только на основании дальнейших исследований вклада каждого из этих факторов в изменение современного климата в летнее время года.

На фоне отмеченных климатических тенденций происходит изменение биопродуктивности земель Беларуси, в первую очередь за счет быстрого роста температуры воздуха (средняя температура воздуха с мая по август растет со скоростью 0,54 °C / 10 лет) при практически неизменном количестве осадков в вегетационный период. Спутниковые измерения вегетационного индекса NDVI показывают его снижение на обрабатываемых территориях Беларуси (в отдельных регионах до 1 % в год) и рост для неосвоенных территорий. При сохранении наблюдаемых климатических тенденций биопродуктивность обрабатываемых земель во многих регионах Беларуси к середине текущего столетия может снизиться более чем на 20 % по сравнению с началом 2000-х годов. Влияние изменений климата на биопродуктивность неосвоенных земель Беларуси незначительно на фоне ее роста в условиях повышающегося содержания углекислого газа в атмосфере.

Список использованных источников

1. Soon, W. Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide / W. Soon [et al.] // Clim. Res. – 1999. – Vol. 13. – P. 149–164.
2. Zhu, Z. Greening of the Earth and its drivers / Z. Zhu [et al.] // Nat. Clim. Chang. – 2016. – Vol. 6, № 8. – P. 791–795. – doi:10.1038/nclimate3004
3. Xu, L. Temperature and vegetation seasonality diminishment over northern lands / L. Xu [et al.] // Nat. Clim. Chang. – 2013. – № 3. – P. 581–586.
4. Bjorkman, A. D. Plant functional trait change across a warming tundra biome / A. D. Bjorkman [et al.] // Nature. – 2018. – Vol. 562. – P. 57–62.
5. Buermann, W. Widespread seasonal compensation effects of spring warming on northern plant productivity / W. Buermann [et al.] // Nature. – 2018. – Vol. 562. – P. 110–114.
6. Логинов, В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия / В. Ф. Логинов. – Минск : ТетраСистемс, 2008. – 496 с.
7. Логинов, В. Ф. Тренды, «скачки» и паузы в изменении глобальной и региональной температуры и их возможные причины / В. Ф. Логинов // Украинский географический журнал. – 2015. – № 1. – С. 12–19.
8. Логинов, В. Ф. Изменения климата: тренды, циклы, паузы / В. Ф. Логинов, В. С. Микуцкий. – Минск : Беларусская наука, 2017. – 180 с.
9. Baldridge, A. M. The ASTER Spectral Library Version 2.0. / A. M. Baldridge [et al.] // Remote Sensing of Environment. – 2009. – Vol. 113. – P. 711–715.
10. Rothman, L. S. The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database / L. S. Rothman [et al.] // Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer. – 2009. – Vol. 110, № 9–10. – P. 533–572.
11. Duveiller, G. The mark of vegetation change on Earth's surface energy balance / G. Duveiller, J. Hooker, A. Cescaatti // Nat. Commun. – 2018. – Vol. 9, № 679. – P. 12.
12. Зуев, В. Е. Оптические модели атмосферы / В. Е. Зуев, Г. М. Креков. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 256 с.
13. Bohren, G. F. Absorption and Scattering of Light by Small Particles / G. F. Bohren, D. R. Huffman. – New York : John Wiley & Sons, 1983. – 544 р.
14. Hong, G. Parameterization of Shortwave and Longwave Radiative Properties of Ice Clouds for Use in Climate Models / G. Hong [et al.] // J. Clim. – 2009. – Vol. 22, № 23. – P. 6287–6312.
15. Логинов, В. Ф. Оценка роли Тихого океана в изменениях современного климата / В. Ф. Логинов, С. А. Лысенко, С. Л. Ощепков // Изв. РАН. Сер. географ. – 2019. – № 3. – С. 3–12.
16. Лысенко, С. А. Естественные механизмы стабилизации климата / С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов, С. Л. Ощепков // Доклады НАН Беларуси. – 2018. – Т. 62, № 6. – С. 519–524.
17. Deser, C. Trajectories toward the 1,5 °C Paris target: Modulation by the Interdecadal Pacific Oscillation / C. Deser, R. Guo, F. Lehner // Geophys. Res. Lett. – 2017. – Vol. 44, № 9. – P. 4256–4262.
18. Heimann, M. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks / M. Heimann, M. Reichstein // Nature. – 2008. – Vol. 451. – P. 289–292.

19. Peñuelas, J. Shifting from a fertilization-dominated to a warming-dominated period / J. Peñuelas [et al.] // *Nat. Ecol. Evol.* – 2017. – Vol. 1. – P. 1438–1445.
20. Long, S. P. Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations / S. P. Long [et al.] // *Science*. – 2006. – Vol. 312. – P. 1918–1921.
21. Liu, Q. Extension of the growing season increases vegetation exposure to frost / Q. Liu [et al.] // *Nat Commun.* – 2018. – Vol. 9, № 426. – P. 8.
22. Babst, F. Twentieth century redistribution in climatic drivers of global tree growth / F. Babst [et al.] // *Sci. Adv.* – 2019. – Vol. 5, № 1. – eaat4313.
23. Lu, J. Uncertainty and hotspots in 21st century projections of agricultural drought from CMIP5 models / J. Lu, G. J. Carbone, J. M. Grego // *Sci. Rep.* – 2019. – Vol. 9, № 4922. – P. 12.
24. Swann, A. L. S. Plant responses to increasing CO₂ reduce estimates of climate impacts on drought severity / A. L. S. Swann [et al.] // *PNAS*. – 2016. – Vol. 113, № 36. – P. 10019–10024.
25. Long, S. P. Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations / S. P. Long [et al.] // *Science*. – 2006. – Vol. 312. – P. 1918–1921.
26. Zhu, C. Carbon dioxide (CO₂) levels this century will alter the protein, micronutrients, and vitamin content of rice grains with potential health consequences for the poorest rice-dependent countries / C. Zhu [et al.] // *Sci. Adv.* – 2018. – Vol. 4, № 5. – P. 8.
27. Myers, S. S. Increasing CO₂ threatens human nutrition / S. S. Myers [et al.] // *Nature*. – 2014. – Vol. 510. – P. 139–142.
28. Лысенко, С. А. Сеточный архив метеорологических данных для республики Беларусь и возможности его применения для исследования пространственно-временных особенностей изменений климата / С. А. Лысенко, В. Д. Чернышев, В. В. Коляда // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 17–27.

R e f e r e n c e s

1. Soon W. et al. Environmental effects of increased atmospheric carbon dioxide. *Clim. Res.*, 1999, vol. 13, pp. 149–164.
2. Zhu Z. et al. Greening of the Earth and its drivers. *Nat. Clim. Chang.*, 2016, vol. 6, N 8, pp. 791–795, doi:10.1038/nclimate3004
3. Xu L. et al. Temperature and vegetation seasonality diminishment over northern lands. *Nat. Clim. Chang.*, 2013, no 3, pp. 581–586.
4. Bjorkman A. D. et al. Plant functional trait change across a warming tundra biome. *Nature*, 2018, vol. 562, pp. 57–62.
5. Buermann W. et al. Widespread seasonal compensation effects of spring warming on northern plant productivity. *Nature*, 2018, vol. 562, pp. 110–114.
6. Loginov V. F. *Global'nye i regional'nye izmenenija klimata: prichiny i sledstvija* [Global and regional climate change: causes and consequences]. Minsk, TetraSistems, 2008, 496 p. (in Russian)
7. Loginov V. F. *Trendy, "skachki" i pauzy v izmenenii global'noi i regional'noi temperatury i ih vozmozhnyie prichiny* [Trends, “jumps” and pauses in global and regional temperature change and their possible causes], *Ukrainskiy geograficheskiy zhurnal = Ukrainian Geographical Journal*, 2015, no. 1, pp. 12–19. (in Russian)
8. Loginov V. F., Mikutsky V. S. *Izmenenija klimata: trendy, cikly, pauzy* [Climate change: trends, cycles, pauses], Minsk, Belaruskaja navuka Publ., 2017, 180 p. (in Russian)
9. Baldridge A. M. et al. The ASTER Spectral Library Version 2.0. *Remote Sensing of Environment*, 2009, vol. 113, pp. 711–715.
10. Rothman L. S. et al. The HITRAN 2008 molecular spectroscopic database. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 2009, vol. 110, no 9–10, pp. 533–572.
11. Duveiller G., Hooker J., Cescatti A. The mark of vegetation change on Earth's surface energy balance. *Nat. Commun.*, 2018, vol. 9, no 679, pp. 12.
12. Zuev V. E., Krekov G. M. *Opticheskie modeli atmosfery* [Optical models of the atmosphere]. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1986, 256 p. (in Russian)
13. Bohren G. F., Huffman D. R. *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*. New York, John Wiley & Sons, 1983, 544 p.
14. Hong G. et al. Parameterization of Shortwave and Longwave Radiative Properties of Ice Clouds for Use in Climate Models. *J. Clim.*, 2009, vol. 22, no 23, pp. 6287–6312.
15. Loginov V. F., Lysenko S. A., Oshchepkov S. L. *Ocenka roli Tihogo okeana v izmenenijah sovremenennogo klimata*. [Assessment of the Role of the Pacific Ocean in Present Climate Changes]. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical series, 2019, no. 3, pp. 3–12. (in Russian)
16. Lysenko S. A., Loginov V. F., Oshchepkov S. L. *Estestvennye mehanizmy stabilizacii klimata* [Climate Stabilization Natural Mechanisms], *Doklady NAN Belarusi = Reports of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2018, vol. 62, no. 6, pp. 519–524. (in Russian)
17. Deser C., Guo R., Lehner F. Trajectories toward the 1,5 °C Paris target: Modulation by the Interdecadal Pacific Oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 2017, vol. 44, no 9, pp. 4256–4262.
18. Heimann M., Reichstein M. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks. *Nature*, 2008, vol. 451, pp. 289–292.

19. Peñuelas J. et al. Shifting from a fertilization-dominated to a warming-dominated period. *Nat. Ecol. Evol.*, 2017, vol. 1, pp. 1438–1445.
20. Long S. P. et al. Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. *Science*, 2006, vol. 312, pp. 1918–1921.
21. Liu Q. et al. Extension of the growing season increases vegetation exposure to frost. *Nat Commun.*, 2018, vol. 9, no 426, p. 8.
22. Babst F. et al. Twentieth century redistribution in climatic drivers of global tree growth. *Sci. Adv.*, 2019, vol. 5, no 1, eaat4313.
23. Lu J., Carbone G. J., Grego J. M. Uncertainty and hotspots in 21st century projections of agricultural drought from CMIP5 models. *Sci. Rep.*, 2019, vol. 9, no 4922, p. 12.
24. Swann A. L. S. et al. Plant responses to increasing CO₂ reduce estimates of climate impacts on drought severity. *PNAS*, 2016, vol. 113, no 36, pp. 10019–10024.
25. Long S. P. et al. Food for thought: lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations. *Science*, 2006, vol. 312, pp. 1918–1921.
26. Zhu C. et al. Carbon dioxide (CO₂) levels this century will alter the protein, micronutrients, and vitamin content of rice grains with potential health consequences for the poorest rice-dependent countries. *Sci. Adv.*, 2018, vol. 4, no 5, p. 8.
27. Myers S. S. et al. Increasing CO₂ threatens human nutrition. *Nature*, 2014, vol. 510, pp. 139–142.
28. Lysenko S. A., Chernyshev V. D., Kalyada V. V. *Setochnyj arhiv meteorologicheskikh dannyh dlja respubliki Belarus' i vozmozhnosti ego primenenija dlja issledovanija prostranstvenno-vremennyh osobennostej izmenenij klimata* [A grid archive of meteorological data of the Republic of Belarus and the opportunity of its use in research of spatial-temporal peculiarities of climate changes]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2019, no. 1, pp. 17–27. (in Russian)

Информация об авторах

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

Лысенко Сергей Александрович – д-р физ.-мат. наук, доцент, директор, зав. Центром климатических исследований, Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: lysenko.nature@gmail.com

Бондаренко Юрий Александрович – мл. науч. сотр., Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

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

Information about the authors

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

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

Bondarenko Yuriy A. – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

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

ВЛИЯНИЕ МЕСТНОГО ИСПАРЕНИЯ НА КОЛИЧЕСТВО ОСАДКОВ, ВЫПАДАЮЩИХ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В ВЕГЕТАЦИОННЫЙ ПЕРИОД

С. А. Лысенко, В. Ф. Логинов, В. И. Мельник

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Для оценок возможностей изменения гидрологических процессов под влиянием искусственного осушения или обводнения земель необходим анализ степени воздействия местного испарения на режим выпадения осадков на ограниченной территории. В статье приводятся результаты расчетов составляющих водного баланса атмосферы в отдельные месяцы вегетационного периода на территории Беларуси. Исследуются особенности пространственного распределения осадков в регионе, образующихся за счет местного испарения. Показано, что влага местного происхождения способствует увеличению среднего количества осадков в Беларуси на 6–13 % с наибольшим эффектом в мае и наименьшим в августе. Область пространственной локализации осадков местного происхождения определяется направлением преимущественного переноса воздуха. В весенние месяцы вегетационного периода местное испарение вносит наибольший вклад в формирование осадков на северо-востоке Беларуси, увеличивая их количество в отдельных районах более чем на 15 %. В летние месяцы область максимального выпадения осадков местного происхождения приходится преимущественно на Могилевскую и Гомельскую области, что вызвано зональным переносом влаги, испарившейся с территории других областей.

Ключевые слова: водный баланс атмосферы; мелиорация земель; испарение; осадки.

Для цитирования. Лысенко С. А., Логинов В. Ф., Мельник В. И. Влияние местного испарения на количество осадков, выпадающих на территории Беларуси в вегетационный период // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 32–43.

INFLUENCE LOCAL EVAPORATION ON THE AMOUNT OF PRECIPITATION ON THE TERRITORY OF BELARUS OF THE VEGETATION PERIOD

S. A. Lysenko, V. F. Loginov, V. I. Melnik

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

Abstract. Analysis of local evaporation influence on rainfall patterns on a limited land is crucial for estimations of possibilities in hydrological processes changes under the effect of artificial land drainage or irrigation. The article shows the results of water balance component calculation in certain months of vegetation period on the territory of Belarus. Spatial features of distribution of rainfall formed by local evaporation were studied. It was shown that moisture of local origin facilitates the increase in average precipitation amount in Belarus by 6–13 % with the greatest effect in May and the least effect in August. The area of spatial localization of rainfall of local origin is defined by the direction of predominant air transfer. In spring months of vegetation period, local evaporation makes the greatest input in rainfall formation in north-eastern part of Belarus, where it increases the rainfall amount by 15 %. In summer months, the area of maximum rainfall of local origin covers Gomel and Mogilev regions. It is caused by the zonal transfer of water vapour originated in other regions.

Key words: atmospheric water balance; land reclamation; evaporation; precipitation.

For citation. Lysenko S. A., Loginov V. F., Melnik V. I. Influence local evaporation on the amount of precipitation on the territory of Belarus of the vegetation period. *Nature Management*, 2019, no 2, pp. 32–43.

Введение. Известно, что главным источником осадков на суше являются океаны. Другим источником осадков, выпадающих над сушей, является водяной пар, образующийся за счет местного испарения. Степень влияния местного испарения на процессы формирования осадков существенно зависит от особенностей атмосферной циркуляции, рельефа местности, степени обводненности и лесистости подстилающей поверхности, а также от ряда других факторов.

Определение роли местного испарения в формировании осадков представляет не только научный интерес, но и имеет немаловажное практическое значение в связи с широко ведущимися работами по мелиорации климата. Имеются серьезные основания считать, что, если бы во время

интенсивной мелиорации территории Беларуси приняли во внимание рекомендации ученых о строительстве крупных водохранилищ и не спустили накопленную в Полесье воду в Мировой океан, проблема засух и заморозков на этой территории не стояла бы столь остро. В противоположность этому строительство крупных водохранилищ и систем обводнения выработанных торфяных месторождений может привести к некоторому увеличению роли местного испарения, меньшей повторяемости засух и заморозков на мелиорированных территориях и в целом к более благоприятному климату и водному режиму в регионе. Однако насколько существенным окажется желаемый эффект и как искусственное «обводнение» территории сможет повлиять на режимы выпадения осадков в «обводняемом» регионе и за его пределами – вопросы, требующие тщательного изучения. В любом случае, очевидно, что большие проекты по преобразованию природы и улучшению местного климата нельзя осуществлять без строго научного обоснования, оценок их эффективности и анализа комплекса возможных последствий.

Вопрос о влиянии свойств подстилающей поверхности на формирование гидрологического режима и метеорологических условий на территории Беларуси и бывшего СССР в разное время изучался О. А. Дроздовым (Главная геофизическая обсерватория им. А. И. Войкова), В. В. Цинзерлингом, В. Ф. Логиновым (Институт природопользования НАН Беларуси), В. Ф. Шебеко (Институт мелиорации НАН Беларуси), А. В. Кудельским (Институт геологии, геохимии и геофизики НАН Беларуси), В. М. Широковым и П. С. Лопухом (Белорусский государственный университет), А. А. Волчеком (Брестский государственный технический университет) и другими авторами.

По оценкам О. А. Дроздова и А. С. Григорьевой [1] роль местного испарения с поверхности суши в образовании осадков в регионе Полесья наиболее значительна в начале лета, когда поверхность лучше увлажнена и нагрета, а испарение и транспирация достигают максимума. В это время осадки, образующиеся за счет местного испарения, составляют от 13 до 15 % их общего количества.

Несколько иное мнение о роли местного испарения в атмосферном влагообороте в регионе Полесья высказывалось профессором В. В. Цинзерлингом, соображения которого не были опубликованы, но, основываясь на рукописях автора, изложены в монографии [2]. В представлении В. В. Цинзерлинга в регионе Полесья имеются значительные запасы энергии солнечной радиации, которые можно обратить в теплоту парообразования и тем самым увеличить атмосферный сток влаги с переувлажненных территорий. В. В. Цинзерлинг не видел необходимости увеличивать пропускную способность Припяти при мелиорации земель в Полесье, а предлагал больше использовать свободное природное тепло для испарения воды речного стока посредством улучшения методов ведения сельского, лесного хозяйства и строительства гидротехнических сооружений. Он предлагал создавать гидрофильтры леса, широко применять искусственное орошение и построить водоемы с большими площадями водной поверхности. Однако, в итоге при формировании планов мелиорации победила точка зрения О. А. Дроздова о незначительной роли местного испарения в формировании влагооборота в регионе Полесья.

Экспериментальные наблюдения изменений микроклимата после создания водохранилищ в пригородных зонах Беларуси показывают, что воздействие водохранилищ проявляется в изменении температуры воздуха, количества выпадающих осадков и ветрового режима [3]. Охлаждающее влияние водохранилищ на сушу проявляется в радиусе 250–300 м. Ширина зоны отепляющего влияния водохранилищ в холодное, но безледоставное время года составляет 25–50 м. Ширина зоны изменений микроклимата по периметру водохранилищ неодинакова и трансформируется в зависимости от характера природы побережий. На открытых и пологих участках (пашня, луг) она увеличивается в 1,5–2,0 раза. На сильно облесенных участках побережий зона влияния имеет минимальную ширину. При этом на размеры формирующейся зоны микроклиматических изменений существенное влияние оказывает направление преобладающих ветров. На территории Беларуси, как правило, наблюдается преобладание ветров западных направлений, что связано с западным переносом атлантического воздуха умеренных широт и циклонической деятельностью на полярном и арктическом фронтах. В связи с этим зона изменений на восточном побережье водоемов шире, чем на западном. Вследствие изменения подстилающей поверхности после создания водохранилищ происходит изменение и в поле скорости ветра. Увеличение скорости ветра происходит как за счет уменьшения шероховатости подстилающей поверхности, так и за счет различий в термодинамической стратификации слоев воздуха над сушей и водоемом и дополнительного барического градиента [3].

По данным исследований [4] влияние мелиоративных систем в зависимости от типа торфяного месторождения, рельефа местности, свойств подстилающей поверхности, а также от общей гидрологической и гидрогеологической ситуации распространяется на прилегающую территорию от 400–600 м до 5–7 км. В условиях Полесья эта величина в основном оценивается в 1,5–3,0 км. Понижение уровня грунтовых вод оценивается величиной порядка 1 м на осушаемой территории с постепенным убыванием этой величины до нуля с удалением от осущенного объекта до границы зоны его влияния.

С понижением уровня грунтовых вод уменьшается и испарение с подстилающей поверхности. Однако при сельскохозяйственном использовании осушенных территорий возрастет транспирация растений и суммарное испарение почвы и ее растительного покрова увеличивается в сравнении с неосушенным или осушенным, но не освоенным болотом [5].

Результаты мезомасштабного моделирования климата центрального региона Восточно-Европейской равнины показывают важную роль лесов в формировании погодных условий в данном регионе [6]. В центральной части Восточно-Европейской равнины был выбран «модельный регион», ограниченный координатами 55° и 59° с. ш., 28° и 37° в. д., в пределах которого проводилась имитация изменения степени облесенности территории. Результаты модельных экспериментов показывают, что процессы обезлесения и облесения на территории крупного региона в центре Восточно-Европейской равнины оказывают воздействие на изменение целого ряда метеорологических характеристик на обширных территориях, значительно удаленных от исследуемой «модельной области». Результаты отмечают общую тенденцию к росту приземных температур и уменьшению количества осадков при сценарии, имитирующем процессы обезлесения. Отмечается увеличение продолжительности периодов с аномально жаркими погодными условиями, снижается повторяемость туманов и заморозков в мае и сентябре. При сценарии, имитирующем процессы облесения, отмечаются обратные тенденции. В том числе, прогнозируется увеличение общего количества осадков с мая по сентябрь (на 2,8 % внутри «модельного региона» и на 0,4 % за его пределами, а с июня по июль – на 4,8 и 1,0 % соответственно) при незначительном понижении температуры.

Исследования, выполненные в Институте природопользования НАН Беларуси, показывают зависимость количества осадков на территории Белорусского Полесья от характера подстилающей поверхности и подтверждают увеличение количества осадков с увеличением лесистости [7]. Основной причиной изменения количества осадков является изменение коэффициента турбулентности над участками с резко меняющейся шероховатостью. При переходе от поля к массиву лесных полос наблюдается резкое возрастание коэффициента турбулентности (до 0,5–1,0 км), что может вызвать увеличение осадков до 5–10 % [8].

Исходя из работ зарубежных авторов, можно констатировать, что прямой зависимости между испарением и осадками на ограниченной территории суши не наблюдается [9–11]. В качестве примера можно привести низкое количество осадков над Каспийским морем при высоком местном испарении и несоответствие пространственных особенностей выпадения осадков господствующему направлению ветра над этим водным бассейном [12]. Над поверхностью Каспийского моря перенос воздуха преимущественно осуществляется с запада на восток, благодаря чему воздух дополнительно увлажняется испарениями с поверхности моря. Однако в действительности восточные берега Каспийского моря увлажнены значительно меньше, чем западные, хотя площадь Каспийского моря составляет свыше 400 000 км². Это указывает на то, что влага, интенсивно испаряющаяся даже с относительно больших территорий, может крайне слабо участвовать в образовании осадков на этой территории.

Таким образом, вопрос о роли местного испарения в выпадении осадков на ограниченной территории суши является далеко не тривиальным и требует тщательного изучения для каждого региона, в котором планируются мелиоративные мероприятия. Первоначальные оценки такого воздействия должны основываться на теоретическом изучении особенностей регионального влагооборота и анализе накопленной статистической информации о его отдельных элементах.

Методы оценки вклада местного испарения в количество выпадающих осадков. Методы количественного определения элементов влагооборота атмосферы основаны на решении уравнения водного баланса атмосферы для исследуемого региона:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = - \left(\frac{\partial F_x}{\partial x} + \frac{\partial F_y}{\partial y} \right) + E - P, \quad (1)$$

где W – средняя по площади региона толщина слоя воды в атмосфере (кг·м⁻²); F_x и F_y – вертикально проинтегрированные потоки влаги, выходящей из анализируемого региона в двух горизонтальных направлениях (кг·м⁻¹·с⁻¹); E – средняя в регионе скорость испарения с подстилающей поверхности (кг·м⁻²·с⁻¹); P – средняя в регионе скорость выпадения осадков (кг·м⁻²·с⁻¹).

Для оценки количества внутренних осадков на территории Беларуси, образующихся из водяного пара местного происхождения, использовался метод решения уравнения (1), предложенный в работах [10, 11]. Данный метод применим для вычисления средних характеристик регионального влагооборота в пределах отрезков времени, на которых изменение содержания влаги в исследуемом регионе (левая часть уравнения (1)) можно считать пренебрежимо малым по сравнению с количеством влаги, переносимой через горизонтальные границы региона (первое слагаемое в правой части (1)). В этом случае можно выполнить интегрирование уравнения (1) по площади региона и с использованием

теоремы Грина, устанавливающей связь между криволинейным интегралом по замкнутому контуру и двойным интегралом по площади, ограниченной этим контуром, получить уравнение динамического равновесия влаги:

$$\oint (F_x^{out} - F_x^{in}) dl_y + \oint (F_y^{out} - F_y^{in}) dl_x = (E - P) A, \quad (2)$$

где F_x^{in} и F_x^{out} – средние за рассматриваемый период потоки влаги, поступающей в регион (*in*) и уходящей из него (*out*) вдоль оси *x* через элементарный участок периметра протяженностью dl ; F_y^{in} , F_y^{out} – аналогичные потоки вдоль оси *y*; dl_x и dl_y – проекции dl на направления, ортогональные потокам влаги; A – площадь региона.

Введем обозначения $Q^{in} = \oint F_x^{in} dl_y + \oint F_y^{in} dl_x$ и $Q^{out} = \oint F_x^{out} dl_y + \oint F_y^{out} dl_x$ для средних скоростей поступления влаги в регион (*in*) и ухода влаги из региона (*out*), используя которые, представим уравнение (2) в более удобной для практического использования форме:

$$Q^{out} - Q^{in} = (E - P) A. \quad (3)$$

Уравнение применимо для любого криволинейного контура и описывает условие поддержания неизменного содержания влаги в области, ограниченной этим контуром: количество влаги, выходящей за границы области в единицу времени, равно количеству влаги, поступающей со всех направлений в эту область и обогащенной за счет местного испарения за вычетом влаги, выпадающей в виде осадков.

Используя предположение о равномерном перемешивании в атмосфере анализируемого региона влаги разного происхождения и ее независимом участии в образовании осадков, уравнение (3) можно записать отдельно для адвективных (занесенных в регион) (индекс «*a*») и местных (образующихся в самом регионе) (индекс «*r*») компонент влагооборота:

$$Q_a^{out} - Q_a^{in} = -P_a A, \quad (4)$$

$$Q_r^{out} = (E - P_r) A, \quad (5)$$

где P_a и P_r – средние скорости выпадения осадков из водяного пара, занесенного в регион и образованного в регионе в результате местного испарения соответственно.

При равномерном перемешивании в столбе атмосферы влаги разного происхождения справедливо полагать, что интегральные содержания адвективной (W_a) и местной (W_r) влаги в атмосфере соотносятся между собой в той же пропорции, что и соответствующие им скорости выпадения осадков, а также потоки выходящей из региона влаги:

$$R = \frac{W_r}{W_a + W_r} = \frac{P_r}{P_a + P_r} = \frac{Q_r^{out}}{Q_a^{out} + Q_r^{out}}. \quad (6)$$

Отношение R определяет искомую долю осадков, образующихся за счет местного испарения с ограниченной территории, в общем количестве осадков, выпадающих на этой территории. Удобное выражение для R , не содержащее неизвестных компонент влагооборота адвективного и местного происхождений, можно получить, выразив P_a и P_r из (3)–(5) и подставив их в (6):

$$R = \frac{EA}{EA + Q^{in}}. \quad (7)$$

Таким образом, среднюю долю осадков в регионе, выпадающих за счет местного испарения, можно оценить на основании данных по суммарному испарению в регионе и адвективных потоках влаги на его границах. Долю адвективной влаги в региональном осадкообразовании можно определить

лить как $1 - R = Q^{in} / (EA + Q^{in})$. Учитывая, что скорость поступления влаги в регион складывается из ее составляющих для различных направлений, можно отдельно определить доли местных осадков, обусловленные адвекцией влаги в регион с севера (N), юга (S), запада (W) и востока (E):

$$H_D = \frac{Q_D^{in}}{EA + Q^{in}}, \quad (8)$$

где индекс D определяет направление, а Q_D^{in} – соответствующую этому направлению скорость поступления влаги в регион. Очевидно, что для суммы величин H_D и R выполняется тождество:

$$H_N + H_S + H_W + H_E + R = 1, \quad (9)$$

означающее, что осадки в регионе могут образовываться только из влаги, занесенной в регион и испарившейся в этом же регионе.

Для решения многих прикладных задач в области природопользования требуется информация о пространственных особенностях осадков, выпадающих в некотором регионе за счет местного испарения. В связи с этим вводится фактор региональной обусловленности локальных осадков $\rho(x, y)$, характеризующий долю осадков для элементарной площадки с координатами (x, y) , сформированных испарением в некоторой ограниченной области, включающей эту площадку [13].

Для вычисления пространственного распределения осадков в регионе их образования введем прямоугольную сетку в системе координат x и y . Запишем уравнение (3) отдельно для общей и регионально сформированной влаги внутри одной из прямоугольных ячеек (x_i, y_j) , попадающей в анализируемый регион:

$$Q^{out}(x_i, y_j) - Q^{in}(x_i, y_j) = -P(x_i, y_j) \Delta x_i \Delta y_j, \quad (10)$$

$$Q_r^{out}(x_i, y_j) - Q_r^{in}(x_i, y_j) = (E(x_i, y_j) - P_r(x_i, y_j)) \Delta x_i \Delta y_j, \quad (11)$$

где Δx_i и Δy_j – протяженность ячейки в двух взаимно ортогональных направлениях.

Уравнения (10) и (11) для элементарной пространственной ячейки аналогичны уравнениям (3) и (4) для всего региона с тем отличием, что влага, поступающая в элементарную ячейку, включает составляющую, сформированную не только вне региона, но и внутри его. В соответствии с этим отличается и выражение для $\rho(x_i, y_j)$, получаемое на основе уравнений (10) и (11):

$$\rho(x_i, y_j) = \frac{P(x_i, y_j)}{P(x_i, y_j)} = \frac{Q_r^{in}(x_i, y_j) + E(x_i, y_j) \Delta x_i \Delta y_j}{Q^{in}(x_i, y_j) + E(x_i, y_j) \Delta x_i \Delta y_j}. \quad (12)$$

Скорость поступления общей и регионально сформированной влаги в пространственную ячейку (x_i, y_j) вычисляется по значениям вертикально проинтегрированных потоков влаги на границах этой ячейки и фактора региональной обусловленности локальных осадков в соседних ячейках:

$$Q^{in}(x_i, y_j) = [F_x^{in}(x_{i-1/2}, y_j) + F_x^{in}(x_{i+1/2}, y_j)] \Delta y_j + \\ + [F_y^{in}(x_i, y_{j-1/2}) + F_y^{in}(x_i, y_{j+1/2})] \Delta x_i. \quad (13)$$

$$Q_r^{in}(x_i, y_j) = [F_x^{in}(x_{i-1/2}, y_j) \rho(x_{i-1}, y_j) + F_x^{in}(x_{i+1/2}, y_j) \rho(x_{i+1}, y_j)] \Delta y_j + \\ + [F_y^{in}(x_i, y_{j-1/2}) \rho(x_i, y_{j-1}) + F_y^{in}(x_i, y_{j+1/2}) \rho(x_i, y_{j+1})] \Delta x_i. \quad (14)$$

Заметим, что при вычислении $Q_r^{in}(x_i, y_j)$ по формуле (14) используется тот факт, что поток влаги, выходящей из ячейки через одну из ее границ, соответствует потоку влаги, поступающей в соседнюю ячейку через эту же границу.

Система уравнений (12)–(14) решается согласованно для всех ячеек прямоугольной сетки внутри исследуемой области на основе итерационного алгоритма [13].

На первой итерации значения $\rho(x_i, y_j)$ задаются произвольным образом. Далее вычисляются средние за рассматриваемый отрезок времени скорости поступления общей и регионально сформированной влаги в каждую из ячеек по формулам (13) и (14), после чего проводится уточнение распределения $\rho(x_i, y_j)$ по формуле (12) и выполняется переход к следующей итерации. Итерации завершаются, когда распределение $\rho(x_i, y_j)$ перестает изменяться значимым образом при переходе от одной итерации к другой.

Зная распределение $\rho(x_i, y_j)$ можно альтернативным способом рассчитать среднюю долю осадков, обусловленную местным испарением во всем анализируемом регионе:

$$R = \frac{\sum_{i} \sum_{j} \rho(x_i, y_j) P(x_i, y_j) \Delta x_i \Delta y_j}{\sum_{i} \sum_{j} P(x_i, y_j) \Delta x_i \Delta y_j}. \quad (15)$$

Используемые данные. Для исследования особенностей формирования влаги на территории Республики Беларусь использовались следующие комплекты данных:

– Метеорологический реанализ Европейского центра среднесрочных прогнозов последнего (пятого) поколения ERA5, включающий двух- и трехмерные поля компонент скорости ветра, удельной влажности воздуха и количества осадков с почасовым или месячным разрешением. Реанализ ERA5 представляет собой цифровое описание современного климата на основе ассимиляции данных наблюдений и расчетов моделей. Метеорологические поля представлены с пространственным разрешением $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ (примерно 31 км) по поверхности земного шара на 139 высотах атмосферы от подстилающей поверхности до уровня давления 0,01 гПа (примерно 80 км);

– Расчеты глобальной модели эвапотранспирации с поверхности суши (суммарного испарения почвы и транспирации растений) GLEAM (Global Land Evaporation Amsterdam Model) суточного или месячного разрешения. Пространственное разрешение модели – $0,25^\circ$ по долготе и широте. Данные по испарению с поверхности суши в теплое время года подразделяются для каждой расчетной ячейки на испарение почвы, испарение с открытой водной поверхности, транспирацию растительного покрова и испарение осадков, перехваченных (задержанных) растительным покровом. Модель инициализируется данными ряда спутниковых приборов и реанализа ERA5.

Из упомянутых баз данных извлекались только те метеорологические величины, которые непосредственно используются в расчетах доли местной влаги в осадкообразовании по приведенным выше формулам: скорость испарения с подстилающей поверхности E (мм/день), скорость выпадения осадков P (мм/день) и суммарные по атмосферному столбу потоки адвективной влаги в широтном F_x и меридиональном F_y направлениях ($\text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{день}^{-1}$). Потоки влаги вычисляются в соответствии с высотными распределениями удельной влажности воздуха q (кг/кг – килограмм водяного пара на килограмм воздуха) и горизонтальных составляющих скорости ветра V_x и V_y (м/с):

$$F_{x(y)} = \int_0^{p_0} q(p) V_{x(y)}(p) \frac{dp}{g}. \quad (16)$$

где p – давление; p_0 – значение давления на уровне подстилающей поверхности; g – ускорение свободного падения.

Расчеты составляющих регионального влагооборота проводились для среднемесечных значений метеорологических величин, что позволяло с достаточной степенью уверенностью пренебречь временными вариациями интегрального содержания водяного пара в регионе. Рассматривались только месяцы вегетационного периода: с апреля по сентябрь. Сегмент расчетной сетки соответствовал границам Республики Беларусь. Исторический период, используемый для усреднения расчетных величин, ограничивался используемыми архивами данных: 1980–2018 гг.

Следует заметить, что результаты вычисления среднего для Беларуси вклада местного испарения в общее количество осадков двумя описанными выше методами (по формулам (7) и (15)) согласуются друг с другом с точностью до третьего знака. Однако если первый метод дает только среднюю по территории Беларуси долю регионально обусловленных осадков, то второй позволяет получать их пространственное распределение в исследуемом регионе.

Результаты расчетов. Поля метеорологических величин, определяющих режим выпадения осадков, рассчитаны для всех месяцев вегетационного периода (апрель–сентябрь). В настоящей статье приведены данные расчетов за май и июнь (рис. 1, 2).

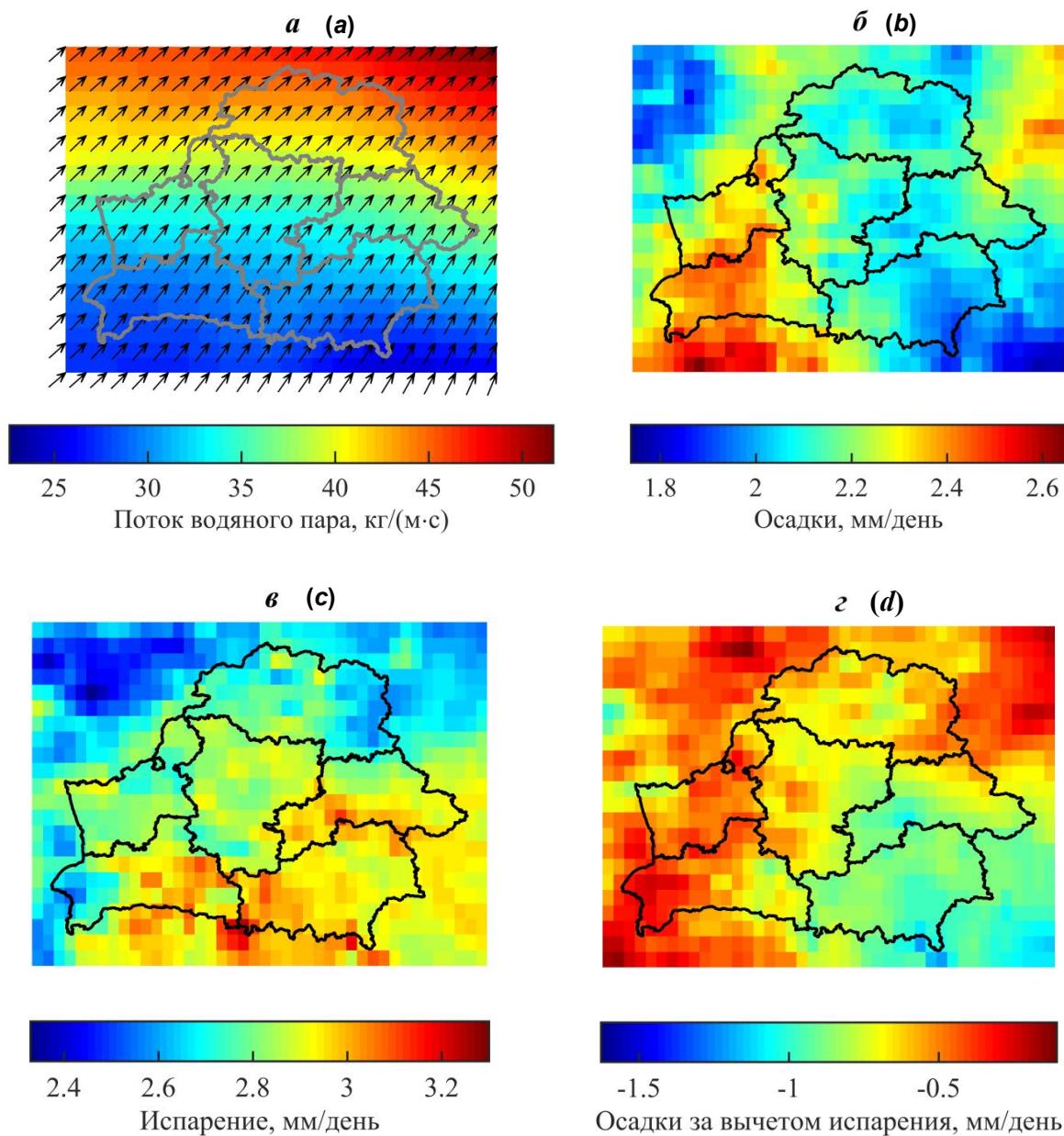


Рис. 1. Средние метеорологические поля в мае: *а* – суммарные по высоте атмосферы потоки влаги (цвет – величина, стрелки – направление); *б* – среднесуточное количество осадков; *в* – среднесуточное испарение с подстилающей поверхности; *г* – дефицит осадков (осадки минус испарение)

Fig. 1. Average meteorological fields in May: *a* – total atmospheric water flux (color depicts value, arrows point the direction); *b* – average daily precipitation; *c* – average daily evaporation from the underlying surface; *d* – precipitation deficit (precipitation minus evaporation)

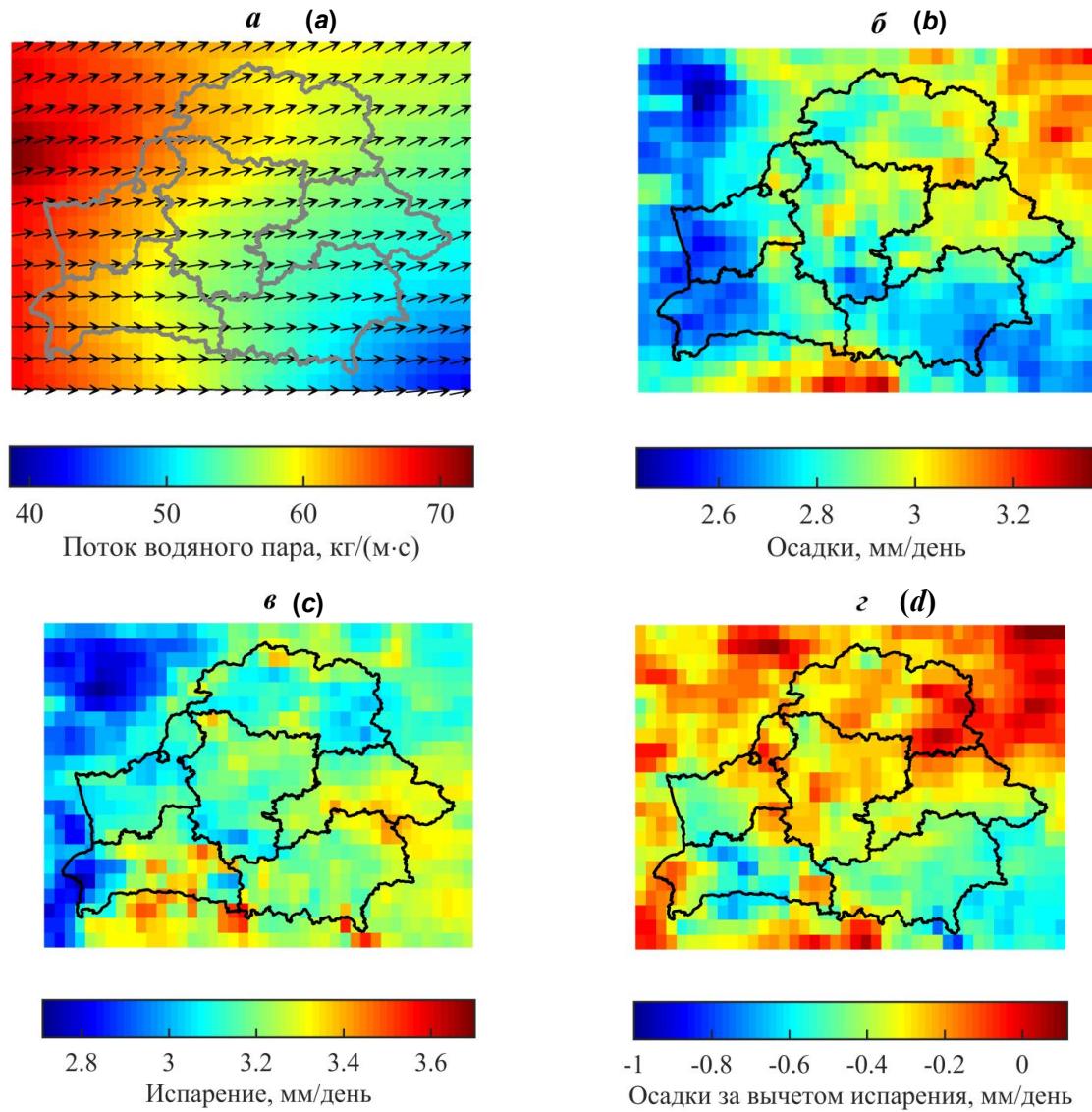


Рис. 2. Средние метеорологические поля в июне: а – суммарные по высоте атмосферы потоки влаги (цвет – величина, стрелки – направление); б – среднесуточное количество осадков; в – среднесуточное испарение с подстилающей поверхности; г – дефицит осадков (осадки минус испарение)

Fig. 2. Average meteorological fields in June: a – total atmospheric water flux (color depicts value, arrows point the direction); b – average daily precipitation; c – average daily evaporation from the underlying surface; d – precipitation deficit (precipitation minus evaporation)

Распределения по территории Беларуси доли осадков, обусловленной суммарным испарением со всей территории Беларуси в рассматриваемые месяцы, представлены на рис. 3.

В весенние месяцы вегетационного периода водяной пар в атмосферу над Беларусью в основном поступает с юго-запада (рис. 1). По мере продвижения воздушных потоков на северо-восток они обогащаются влагой, что свидетельствует о важной роли местного испарения в весенние месяцы. В это время года почва содержит достаточные запасы влаги и на фоне сравнительно невысокого количества адвективной (поступающей извне) влаги способна вносить ощутимый вклад в формирование осадков, особенно за счет южных регионов Беларуси, где среднесуточное испарение на 0,2–0,4 мм превосходит среднесуточное количество осадков. Средний вклад осадков, выпадающих на всей территории Беларуси за счет местного испарения, в их общее количество составляет примерно 12,4 и 13,5 % в апреле и мае соответственно. Наиболее значимое влияние местное испарение оказывает на режим выпадения осадков на северо-востоке Беларуси, поскольку именно сюда воздушные потоки больше всего заносят влаги, испаряемой с подстилающей поверхности. При этом общее количество осадков в апреле и мае примерно на 30 % ниже, чем в летние месяцы, что, вероятно, и объясняет сравнительно высокий вклад местного испарения в общее количество весенних осадков.

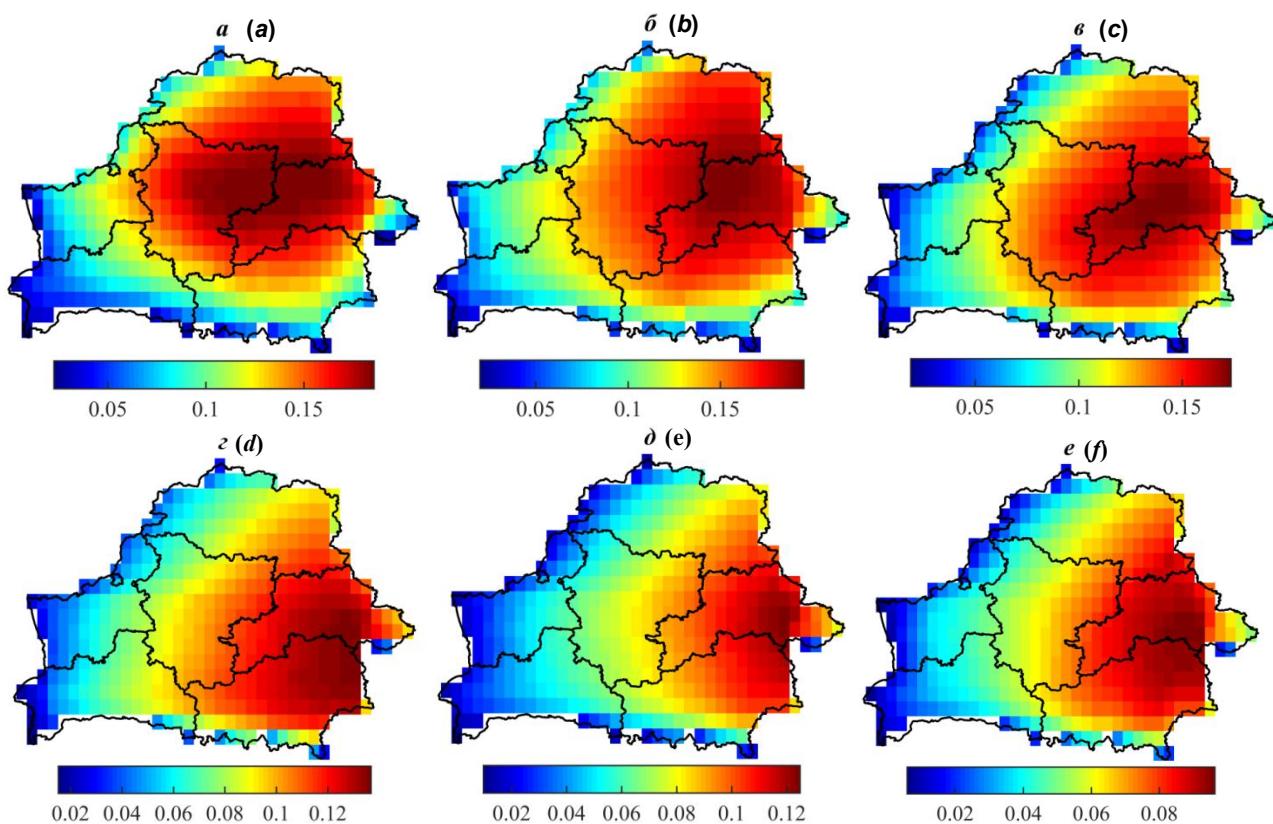


Рис. 3. Пространственные распределения вклада испарения со всей территории Беларуси в количество выпадающих осадков в апреле (а), мае (б), июне (в), июле (г), августе (д), сентябре (е)

Fig. 3. Spatial distribution of total input of evaporation in total precipitation amount on the territory of Belarus in April (a), May (b), June (c), July (d), August (e), September (f)

В летние месяцы ситуация с режимом формирования осадков на территории Беларуси выглядит несколько иначе. В эти месяцы в атмосферной циркуляции превалируют зональные потоки влажного воздуха с Атлантики, приносящие в Беларусь гораздо больше влаги, чем в весенние месяцы (рис. 2). При прохождении воздушных потоков над территорией Беларуси часть содержащейся в них влаги выпадает в виде осадков. Существенная широтная зависимость западного переноса влаги в июне и августе (рис. 2) приводит к тому, что осадки в эти месяцы выпадают преимущественно на юге Беларуси. В июле широтная зависимость потоков влаги менее выражена, поэтому осадки более интенсивно выпадают на западе Беларуси, где воздух более насыщен влагой.

Средняя для территории Беларуси доля осадков, сформированных местным испарением, составляет 11,9 % в июне, 9,4 % в июле и 5,8 % в августе. Область пространственной локализации этих осадков приходится преимущественно на Могилевскую и Гомельскую области, что связано с наибольшей доставкой в эти области влаги, испарившейся с территории других областей.

В сентябре потоки влаги, поступающие с запада на территорию Беларуси, имеют сильную широтную зависимость, выражющуюся в быстром увеличении западной адвекции влаги по мере увеличения широты местности. В соответствии с этим обстоятельством больше всего осадков выпадает в самой северной области Беларуси – Витебской). Интенсивная адвекция влаги в сентябре и низкое испарение с высущенной за лето подстилающей поверхности приводят к тому, что в сентябре количество осадков на всей территории Беларуси за исключением западной части Гомельской области превалирует над испарением, что говорит о начале периода накопления влаги в почве.

Следует особо обратить внимание на сравнительно низкое количество осадков на территории Гомельской области практически во все месяцы вегетационного периода. Стабильно низкое увлажнение территории Гомельской области в вегетационный период при высоких темпах потепления, свойственных южным регионам Беларуси, способствует засушливости климата и негативно сказывается на биологической продуктивности экосистем. На протяжении всего вегетационного периода испаре-

ние на территории Гомельской области превышает скорость ее увлажнения осадками (в данной статье это показано на примере рис. 1, 2). При этом, несмотря на то, что летом в Беларуси большая доля осадков из паров местного испарения образуется именно на территории Гомельской области, они не компенсируют имеющийся в ней дефицит осадков. Вклад самой Гомельской области в режим выпадения осадков на ней, очевидно, будет как минимум в 2,0 раза слабее вклада, вносимого всей территорией Беларуси.

В Брестской области в мае выпадает сравнительно большое количество осадков (по сравнению с другими областями Беларуси), что способствует накоплению почвой влаги и лучшей защищенности экосистем в период летних засух, когда складывается дефицит осадков. В то же время, в связи с особенностями атмосферной циркуляции в весенние месяцы (юго-западный перенос воздуха), влага, испаряющаяся с территории других областей Беларуси, практически не оказывает влияния на режим выпадения осадков в Брестской области. В результате вклад местного испарения в количество осадков на территории Брестской области составляет лишь около 5 %. В то же время, как видно из рис. 3, а и б, влага, испаряющаяся на территории Брестской области и переносимая воздушными потоками в северо-восточном направлении, может существенно увеличивать количество осадков в Минской, Витебской и Могилевской областях.

С июня по сентябрь, когда на территории Беларуси преобладает западный перенос воздушных масс. Брестская область также практически не попадает в зону влияния влаги, выносимой с территории других областей Беларуси, а эффекты местного испарения в самой Брестской области не способны существенно повлиять на режим выпадения осадков в ней (эффект на уровне единиц процентов). При этом испарение с территории Брестской области может несколько улучшать гидрологический режим на территории Гомельской области в летние месяцы.

Таким образом, изменениями гидрологических характеристик (увеличением обводненности) подстилающей поверхности на территориях Брестской и Гомельской областей сложно достичь увеличения количества весенне-летних осадков в этих областях более чем на 10 %. Весной эти изменения в большей степени могут отразиться на режиме увлажнения территорий других областей Беларуси и сопредельных областей России, расположенных на пути юго-западных воздушных потоков. При этом территории Брестской и Гомельской областей практически не попадают в зону адвекции воздушных масс из других областей Беларуси. С июня по сентябрь, когда адвекция в Беларуси происходит преимущественно с запада на восток, влага, выносимая воздушными потоками из Брестской области, способствует увеличению количества осадков в Гомельской области (суммарный вклад с самой Гомельской областью – около 10 %). Однако влага, как местного происхождения, так и выносимая с территорий других областей, не компенсирует дефицит осадков, возникающий в Гомельской области в весенние и летние месяцы.

Заключение. Более обстоятельный анализ особенностей формирования осадков на территории Республики Беларусь и возможностей их антропогенного регулирования посредством изменения структуры подстилающей поверхности требует дальнейших исследований. В частности, необходимо отдельно оценить влияние каждой области на распределение осадков по территории Беларуси. Для понимания особенностей изменений современного режима выпадения осадков необходим анализ трендов количества осадков из местной и занесенной извне влаги в различные месяцы на всей территории Беларуси с оценкой их статистической достоверности. Особый интерес представляет исследование изменений поля осадков на территории Беларуси, произошедших в результате активной осушительной мелиорации в 1965–1985 гг. Используемые в настоящей работе метеорологические данные реанализа ERA5 отсчитываются с 1979 г., когда основной объем мелиоративных работ в Беларуси уже был проведен. В связи с этим представленные выше результаты характеризуют современные особенности водного режима на территории Беларуси. Однако имеются и реанализы за более длительный исторический период. Так, например, реанализ NCER Национального центра прогноза окружающей среды США содержит метеорологические данные с 1948 г., которые, несмотря на их более грубое пространственное разрешение, чем у реанализа ERA5, могут позволить оценить общие черты воздействия проведенной в Беларуси мелиорации на режим выпадения осадков и испарения с подстилающей поверхности. Стоит также отметить, что используемые в настоящей работе методы вычисления составляющих влагооборота атмосферы основаны на предположении о стационарности интегрального содержания водяного пара в столбе атмосферы, что накладывает ограничения на минимальный временной интервал, используемый в расчетах. В дальнейшем следует сопоставить приведенные выше оценки количества осадков, сформированных из паров местного испарения, с результатами их вычисления более совершенными методами, основанными на моделировании обратных траекторий воздушных потоков с почасовым разрешением [14].

Список использованных источников

1. Дроздов, О. А. Влагооборот в атмосфере / О. А. Дроздов, А. С. Григорьева. – Л. : Гидрометеоиздат, 1963. – 316 с.
2. Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.
3. Широков, В. М. Изменение микроклимата побережий и акваторий водохранилищ в пригородных зонах Белоруссии / В. М. Широков, П. С. Лопух // Климатические ресурсы Белоруссии и рациональное их использование / под ред. В. М. Широкова [и др.]. – Минск : Университетское, 1986. – С. 88–93.
4. Лихачевич, А. П. Мелиорация земель в Беларуси / А. П. Лихачевич, А. С. Meerovskiy, Н. К. Вахонин. – Минск : БелНИИМиЛ, 2001. – 308 с.
5. Шебеко, В. Ф. Влияние осушительных мероприятий на водный режим территории / В. Ф. Шебеко. – Минск : Ураджай, 1983. – 200 с.
6. Оценка влияния изменения лесистости центрального региона Восточно-Европейской равнины на летние погодные условия / А. В. Ольчев, И. А. Розинкина, Е. В. Кузьмина, М. А. Никитин, Г. С. Ривин // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2017. – № 4. – С. 83–105.
7. Оценка влияния урбанизации и мелиорации на климатические, водные, земельные и лесные ресурсы Беларуси. «Оценка пространственно-временных особенностей роли мелиорации земель в современных изменениях климата и продуктивности экосистем Беларуси с использованием статистических методов и математического моделирования» : отчет по НИР (промеж.), ГПНИ Природопользование и экология, 2016–2020, подпрограмма 1 «Природные ресурсы и экологическая безопасность» задание № 1.06. – Минск, 2018. – 163 с. – № ГР 20160128.
8. Воронцов, П. А. Аэрологические исследования. Исследования пограничного слоя атмосферы. Главная Геофизическая Обсерватория имени Войкова за 50 лет Советской власти / П. А. Воронцов, Е. С. Селезнева. – Л. : Гидрометеоиздат, 1976. – С. 223–224.
9. Brubaker, K. Estimation of continental precipitation recycling / K. Brubaker, D. Entekhabi, P. S. Eagleson // Journal of Climate. –1993. – Vol. 6, no. 6. – P. 1077–1089.
10. The contributions of local and remote atmospheric moisture fluxes to East Asian precipitation and its variability / Guo L., Klingaman N. P., Demory M. E., Vidale P. L., Turner A. G., Stephan C. C. The // Climate Dynamics. – 2018. – Vol. 51, no. 11–12. – P. 4139–4156.
11. Li, R. Changes in precipitation recycling over arid regions in the Northern Hemisphere / R. Li, C. Wang, D. Wu // Theor. Appl. Climatol. – 2018. – Vol. 131, no. 1–2. – P. 489–502.
12. Погосян, Х. П. Атмосфера Земли / Х. П. Погосян, З. Л. Туркетти. – М. : Просвещение, 1970. – 318 с.
13. Eltahir, E. A. B. Precipitation recycling in the Amazon basin / E. A. B. Eltahir, R. L. Bras // Q. J. R. Meteorol. Soc. – 1994. – Vol. 120, no. 518. – P. 861–880.
14. Dominguez, F. Impact of Atmospheric Moisture Storage on Precipitation Recycling / F. Dominguez, P. Kumar // J. Clim. – 2006. –Vol. 19, no. 8. – P. 1513–1530.

References

1. Drozdov O. A., Grigor'eva A. S. *Vlagoooborot v atmosfere* [Water circulation in the atmosphere]. Leningrad, 1963, 316 p. (in Russian)
2. Loginov V. F., Volchek A. A., Volchek An. A. *Vesennie polovodya na rekah Belarusi: prostranstvenno-vremennyye kolebaniya i prognoz* [Spring floods on the rivers of Belarus: spatio-temporal fluctuations and forecast]. – Minsk, Belarusian Navuka Publ., 2014, 244 p. (in Russian)
3. Shirokov V. M., Lopuh P. S. *Izmenenie mikroklimata poberezhiy i akvatoriy vodohranilisch v prigorodnyh zonah Belorussii* [Changes in microclimate of coastal and water areas of artificial lakes in suburban zones of Belarus]. *Klimaticheskie resursy Belorussii i raciona'l'noe ih ispol'zovanie* [Climate resources of Belarus and rational use of them]. Ed. V. M. Shirokov. Minsk, Universitetskoe Publ., 1986, pp. 88–93. (in Russian)
4. Lihacevich A. P., Meerovskiy A. S., Vahonin N. K. *Melioraciya zemel' v Belarusi* [Land reclamation in Belarus]. Minsk, 2001, 308 p. (in Russian)
5. Shebeko V. F. *Vliyanie osushitel'nyh melioraciy na vodnyy rezhim territoriy* [Influence of draining reclamation on water regime of the territories]. Minsk, 1983, 200 p. (in Russian)
6. Ol'chev A. V., Rozinkina I. A., Kuz'mina E. V., Nikitin M. A., Rivin G. S. *Ocenka vliyaniya izmeneniya lesistosti central'nogo regiona Vostochno-Evropeyskoy ravniny na letnie pogodnye usloviya* [Estimation of the effect of changes in forest cover of East European plain on weather conditions in summer]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya = Fundamental and applied climatology*, 2017, no. 4, pp. 83–105. (in Russian)
7. Ocenna vliyaniya urbanizacii i melioracii na klimaticheskie, vodnye, zemelnye i lesnye resursy Belarusi [Evaluation of the impact of urbanization and land reclamation on the climatic, water, land and forest resources of Belarus] «Ocenka prostranstvenno-vremennyyh osobennostej roli melioracii zemel' v sovremennyh izmeneniyah klimata i produktivnosti ekosistem Belarusi s ispolzovaniem statisticheskikh metodov i matematicheskogo modelirovaniya» [Assessment of the spatio-temporal features of the role of land reclamation in modern climate change and the productivity of ecosystems in Belarus using statistical methods and mathematical modeling]. Otchet po NIR (promezhutochnyy) [Research report (interim)]. GPNI Nature Management and Ecology, 2016–2020, subprogram 1

- "Natural resources and environmental safety" assignment No. 1.06]. Minsk, 2018, 163 p. State Registration Number 20160128. (in Russian)
8. Voroncov P. A., Selezneva E. S. *Aerologicheskie issledovaniya. Issledovaniya pogranichnogo sloya atmosfery* [Aerological research. Studies of the boundary layer of the atmosphere]. Glavnaya Geofizicheskaya Observatoriya imeni Voeikova za 50 let Sovetskoy vlasti [Main Geophysical Observatory named after Voeikov for 50 years of Soviet power]. Leningrad, 1976, pp. 233–224. (in Russian)
 9. Brubaker K., Entekhabi D., Eagleson P. S. Estimation of continental precipitation recycling. *Journal of Climate*. 1993. Vol. 6, no. 6, pp. 1077–1089.
 10. Guo L., Klingaman N. P., Demory M. E., Vidale P. L., Turner A. G., Stephan C. C. The contributions of local and remote atmospheric moisture fluxes to East Asian precipitation and its variability. *Climate Dynamics*. 2018. Vol. 51, no. 11–12, pp. 4139–4156.
 11. Li R., Wang C., Wu D. Changes in precipitation recycling over arid regions in the Northern Hemisphere. *Theor. Appl. Climatol.* 2018. Vol. 131, no. 1–2, pp. 489–502.
 12. Pogosyan H. P., Turketti Z. L. *Atmosfera Zemli* [Atmosphere of the Earth]. Moscow, Prosvetshenie Publ., 1970, 318 p. (in Russian)
 13. Eltahir E. A. B., Bras R. L. Precipitation recycling in the Amazon basin. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 1994. Vol. 120, no. 518, pp. 861–880.
 14. Dominguez F., Kumar P. Impact of Atmospheric Moisture Storage on Precipitation Recycling. *J. Clim.* 2006. Vol. 19, no. 8, pp. 1513–1530.

Информация об авторах

Лысенко Сергей Александрович – д-р физ.-мат. наук, доцент, директор, зав. Центром климатических исследований, Ин-т природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: lysenko.nature@gmail.com

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

Information about the authors

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

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

Victar I. Melnik – Ph. D. (Geography), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: v.melnik2016@mail.ru

ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА И ВИДА АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

В. И. Мельник, И. В. Буяков, В. Д. Чернышев

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье дан анализ изменения количества осадков на территории Беларуси за периоды до потепления – 1961–1988 гг. и после потепления – 1989–2018 гг. Проведен обзор последних научных исследований по изменению количества твердых и жидкых осадков за холодный период года в период потепления. Выполнено распределение количества осадков по территории Беларуси за холодный период года за периоды до и после потепления. Впервые получены данные по изменению числа дней с твердыми и жидкими осадками на территории Беларуси в холодный период года. В связи с изменением соотношения числа дней с твердыми и жидкими осадками за период потепления отмечена необходимость разработки новых подходов для получения расчетных данных по количеству жидких, твердых и смешанных осадков (в мм) в холодный период года.

Ключевые слова: изменение климата; твердые и жидкие осадки.

Для цитирования. Мельник В. И., Буяков И. В., Чернышев В. Д. Изменения количества и вида атмосферных осадков в холодный период на территории Беларуси в условиях современного потепления климата // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 44–51.

CHANGES IN THE AMOUNT AND TYPE OF PRECIPITATION IN THE COLD PERIOD IN THE TERRITORY OF BELARUS UNDER CONDITIONS OF MODERN CLIMATE WARMING

V. I. Melnik, I. V. Buyakov, V. D. Chernyshev

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

Abstract. The article provides an analysis of changes in precipitation in Belarus for the periods prior to the warming – 1961–1988 and after warming – 1989–2018. A review of recent scientific studies on the change in the amount of solid and liquid precipitation during the cold period of the year during warming is carried out. The distribution of precipitation over the territory of Belarus for the cold period of the year for the periods before and after warming has been completed. For the first time, data were obtained on the change in the number of days with solid and liquid precipitation in Belarus in the cold season. In connection with the change in the ratio of the number of days with solid and liquid precipitation during the warming period, the necessity of developing new approaches for obtaining calculated data on the amount of liquid, solid and mixed precipitation (in mm) in the cold season is noted.

Key words: climate change; solid and liquid precipitation.

For citation. Melnik V. I., Buyakov I. V., Chernyshev V. D. Changes in the amount and type of precipitation in the cold period in the territory of Belarus under conditions of modern climate warming. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 44–51.

Введение. Проведенные ранее исследования изменения количества осадков на территории Беларуси, показали, что в период потепления наблюдается тенденция их увеличения практически во всех областях по сравнению с климатической нормой (1961–1990). Изменения в количестве осадков выражаются в увеличении их годовых сумм на севере страны в пределах 5 %, в центральных и южных районах страны значимые изменения не наблюдаются (0–3 %), за исключением Гомельской области, где отмечается их увеличение на 7 % [1]. Наибольшее увеличение осадков характерно для зимних месяцев и связано с особенностями атмосферной циркуляции в Атлантико-европейском секторе [2]. Увеличение осадков в зимние месяцы в период потепления характерно также для всей Европейской части территории Российской Федерации. По данным исследований ГГО по России в среднем отмечается увеличение годовых сумм осадков за периоды 1936–2010 гг. и 1976–2010 гг. При этом за современный период осадки увеличиваются быстрее, чем за 1936–2010 гг. Рост осадков отмечает-

ся преимущественно за счет увеличения весной во всех регионах и менее существенного их увеличения в зимний период на ЕТР [3]. Очевидный практический интерес представляет выполненный в указанной работе анализ таких нетрадиционных характеристик режима осадков, как количество осадков разных видов (жидких, твердых и смешанных). Анализ временных изменений количества осадков раздельно по их видам за период с 1936 по 2010 г. позволил детализировать вклад осадков каждого вида (твердых, жидких и смешанных) в годовые изменения. Количество твердых осадков уменьшается в преобладающей части территории России, как за общий, так и за современный период. Жидкие и смешанные осадки увеличиваются практически повсеместно, особенно на ЕТР. Проведенные исследования по изменению регионально осредненных годовых сумм осадков разных видов за 1976–2010 гг. в % от средней многолетней суммы осадков данного вида (мм/год) показали в целом по территории России и ее регионам увеличение жидких и смешанных осадков и уменьшение количества твердых осадков. По территории Европейской части РФ это увеличение для жидких и смешанных осадков составило 5 и 17 % соответственно, для твердых осадков – уменьшение на 15 % [3]. Проведенные исследования для территории Беларуси показали увеличение продолжительности выпадения жидких осадков в зимний период, причем наибольшее увеличение произошло на севере страны. Продолжительность выпадения твердых осадков в холодный период года сократилась на 11–26 ч в месяц на севере страны, на 17–47 ч в центре и на 11–41 ч в южных районах страны, наиболее заметное изменение характерно для января – величина отрицательного тренда составляет около 20 ч за десятилетие. Продолжительность выпадения смешанных осадков практически не изменилась за период потепления [4].

Учеными ГГО [5] проведено устранение неоднородности временных рядов атмосферных осадков. Сравнительный анализ соотношения измеренных и исправленных средних многолетних характеристик количества осадков (годовые суммы осадков, осадки теплого и холодного периодов и осадков разных видов) выявил следующие закономерности.

1. Величина систематических погрешностей для среднего многолетнего годового количества измеренных осадков за период с 1936 по 2000 г. в среднем составляет 28 % для северных регионов РФ и 21 % для южных. Закономерное увеличение отношения исправленных осадков к измеренным в направлении с юга на север в первую очередь объясняется зависимостью преобладания того или иного вида осадков в их годовом количестве: чем больше доля твердых осадков и выше значения скорости ветра в период их выпадения, тем больше величина соотношения.

2. Недоучет твердых осадков в среднем по территории России за исследуемый период составляет 56 %, а жидких осадков – 15 %. Распределение по территории соотношения измеренного и исправленного годового количества твердых и жидких осадков зависит от ветрового и влажностного режима конкретной станции и ее защищенности [5].

Проведенные исследования для территории Беларуси показали, что снижение количества осадков на отдельных станциях (Полесская, Гродно, Могилев, Новогрудок) в период потепления частично может быть вызвано их недоучетом в холодный период в связи с большими скоростями ветра на открытой поверхности [6].

В настоящей статье получены новые данные по изменению количества и вида атмосферных осадков в холодный период года на территории Беларуси в период потепления.

Материалы и методы исследования. Для оценки изменения количества твердых и жидких осадков были использованы данные наблюдений по станциям Беларуси с длинными рядами за различные периоды наблюдений: до потепления (1961–1988) и после потепления (1989–2018). В связи с отсутствием данных по количеству жидких, твердых и смешанных осадков (в мм) в метеорологических таблицах ТМС для оценки изменения осадков были использованы данные числа дней с твердыми и жидкими осадками за холодный период года (ноябрь–март). Согласно работе [7] к твердым осадкам относятся снежная крупа, ледяная крупа, снежные зерна, ледяные иглы, снег, ливневый снег, а к жидким осадкам – морось, дождь, град, ледяной дождь, дождь ливневый. В случае если в один день наблюдались жидкие и твердые осадки, этот день считался отдельно для жидких и твердых осадков. Количество осадков и число дней с различными видами осадков за холодный период считалось за календарный год. Анализ материалов, построение рисунков и составление таблиц выполнены с применением программного пакета MS Office Excel. Построение карт изменения осадков выполнено с использованием сеточного архива метеорологических данных, разработанного в Центре климатических исследований Института природопользования НАН Беларуси [8].

Результаты исследования и их анализ. Как было отмечено выше, на территории Беларуси в период потепления наблюдается тенденция незначительного увеличения осадков практически во всех областях республики по сравнению с климатической нормой. Наибольшее увеличение количества осадков по отношению к климатической норме наблюдается в отдельные месяцы (январь–март) холодного периода [9]. В среднем за последние 20 лет по территории Беларуси недобор осадков от-

мечен в апреле, июне, и особенно в августе – в республике их выпало 91, 93 и 88 % от нормы соответственно. Несколько больше нормы осадков наблюдалось в январе–марте, мае и октябре (рис. 1).

Для анализа и оценки изменения количества и видов осадков, выпадающих в холодный период, были выбраны 18 гидрометеорологических станций с длинными рядами наблюдений, равномерно расположенных по территории страны. По выбранным станциям были сделаны выборки числа дней с твердыми и жидкими осадками за период с 1961 по 2018 г. Как видно из рис. 2, динамика изменения количества осадков за холодный период (ноябрь–март) на территории Беларуси в целом показывает тенденцию их увеличения.

Обращает внимание значительная амплитуда колебаний годовых сумм осадков за холодный период года. Особенно заметно эти колебания проявились в период потепления, начиная с 2000-х годов.

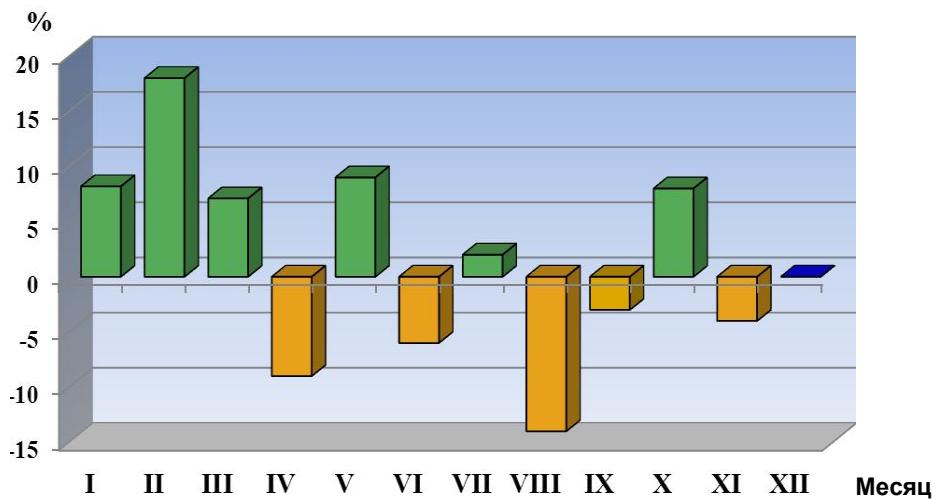


Рис. 1. Отклонение (%) месячной суммы осадков за 1989–2016 гг. от климатической нормы (по данным Белгидромета)

Fig. 1. Deviation (%) of the monthly precipitation for 1989–2016 from the climatic norm (according to Belhydromet data)

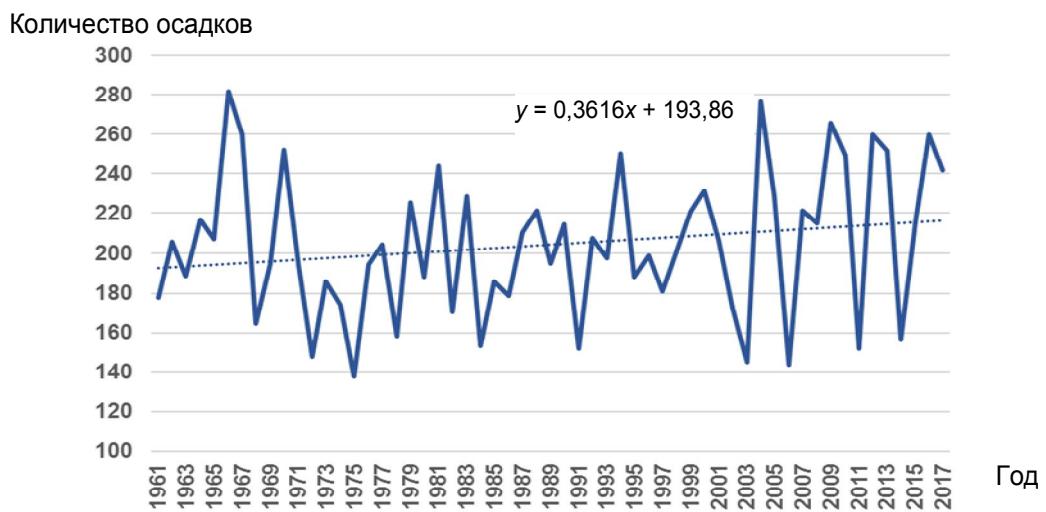


Рис. 2. Динамика изменения количества осадков за холодный период (ноябрь–март) на территории Беларуси

Fig. 2. Dynamics of changes in rainfall over the cold period (November–March) in Belarus

Пространственное распределение количества осадков по территории Беларуси за холодный период года (ноябрь–март) за период до и после потепления в целом подтверждает тенденции их изменения, отмечавшиеся в последних исследованиях [1], а именно: увеличение количества осадков в северо-восточной, восточной и юго-восточной части страны и уменьшение их количества на юго-западе (рис. 3). Необходимо отметить, что в Брестской области это уменьшение отмечено на большинстве станций, кроме станций Барановичи и Пинск. Наибольшее уменьшение осадков отмечено на станции Полесская (-17%) и Брест (-7%). Как уже отмечалось в работе [6], уменьшение осадков на станции Полесская вызвано проведением масштабных мелиоративных работ в 1970–80-х годах и, как следствие, увеличением скоростей ветра на больших выравненных площадях, что приводит к возможному выдуванию осадков из ведра осадкомера и их уменьшению.

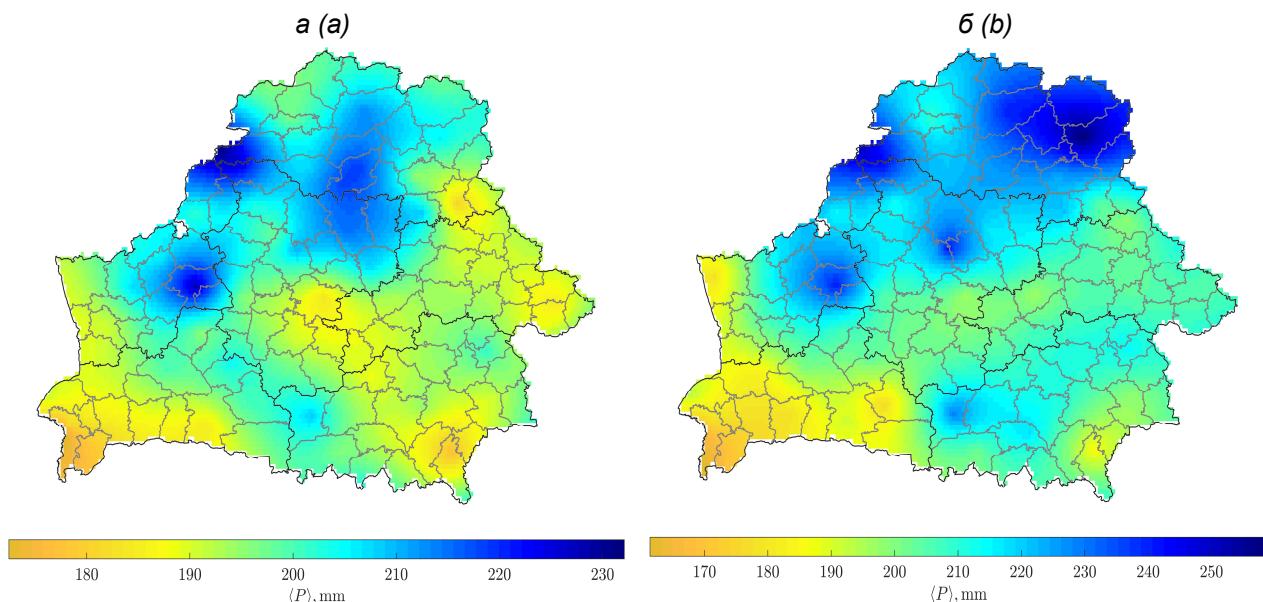


Рис. 3. Изменение количества осадков за холодный период (ноябрь–март) на территории Беларуси:
а – период до потепления (1961–1988); б – современный период потепления (1989–2017)

Fig. 3. Change in rainfall during the cold period (November – March) in Belarus:
a – the period before warming (1961–1988); b – the current period of warming (1989–2017)

Для более детальной оценки изменения твердых и жидкых осадков в холодный период проанализированы данные по числу дней с твердыми и жидкими осадками по длиннорядным станциям за периоды до потепления (1961–1988) и после потепления (1989–2018). Различие числа дней с осадками за различные периоды позволяет судить об их изменении до и после потепления (табл. 1, 2). Уменьшение количества дней с твердыми осадками на территории Беларуси наблюдается повсеместно и в среднем за указанный период составило 13,2 дней, или 19,0 %. Наибольшее уменьшение количества дней с твердыми осадками происходит в западной и юго-западной части республики (максимум 46,8 % на ст. Барановичи). Наименьшее изменение зафиксировано на станциях Минск – 5,2 %, Витебск – 5,5 и Горки – 7,2 %. Соответственно, в этот период наблюдается и увеличение числа дней с жидкими осадками. В среднем по территории Беларуси количество дней с жидкими осадками за холодный период увеличилось почти на 10 дней, или на 24,0 %. Наибольшее их увеличение наблюдается в северной части страны, что в целом согласуется с полученными результатами по продолжительности их выпадения, изложенными в работе [4].

Проведен анализ изменения количества жидких и твердых осадков за периоды до и после потепления в каждом месяце холодного периода. В переходные месяцы (ноябрь, март) отмечено наибольшее уменьшение количества дней с твердыми осадками за период потепления по отношению к периоду 1961–1988 гг. (22,5 и 23,1 % соответственно). Наибольшее увеличение количества дней с жидкими осадками за период потепления в холодный период наблюдается в январе и феврале (68,6 и 70,9 % соответственно), что хорошо согласуется с ростом среднемесячных температур воздуха за эти месяцы в период потепления.

Таблица 1. Изменение количества дней с твердыми осадками за холодный период года по территории Беларуси

Table 1. Change in the number of days of solid precipitation during the cold season in Belarus

Станция	1961–1988 гг.	1989–2018 гг.	Разность	%
Верхнедвинск	72,5	65,0	-7,5	-10,4
Полоцк	79,3	71,4	-7,9	-10,0
Витебск	79,9	76,3	-3,5	-5,5
Минск	80,9	76,7	-4,2	-5,2
Марьина Горка	60,4	45,6	-14,8	-24,5
Ошмяны	69,1	55,7	-13,4	-19,4
Лида	67,9	48,8	-19,1	-28,2
Гродно	62,3	44,6	-17,6	-28,4
Новогрудок	65,3	47,0	-18,3	-28,1
Горки	80,8	75,0	-5,8	-7,2
Могилев	80,6	63,4	-17,2	-21,3
Бобруйск	72,0	58,8	-13,3	-18,3
Барановичи	63,9	34,0	-29,9	-46,8
Полесская	64,9	45,9	-19,0	-29,3
Брест	62,4	45,1	-17,2	-18,7
Пинск	56,3	40,1	-16,2	-28,8
Гомель	63,5	58,4	-5,0	-9,0
Василевичи	65,1	56,8	-8,3	-12,8
<i>Средняя по станциям (по Беларуси):</i>	69,3	56,0	-13,2	-19,0

Таблица 2. Изменение количества дней с жидкими осадками за холодный период года по территории Беларуси

Table 2. Change in the number of days of liquid precipitation during the cold season in Belarus

Станция	1961–1988 гг.	1989–2018 гг.	Разность	%
Верхнедвинск	32,1	49,6	17,5	54,5
Полоцк	38,9	56,8	17,9	46,0
Витебск	39,0	50,5	11,6	29,7
Минск	47,1	59,9	12,8	27,1
Марьина Горка	38,6	45,3	6,7	17,4
Ошмяны	38,3	51,3	13,0	33,9
Лида	44,9	57,1	12,2	27,2
Гродно	44,1	53,3	9,2	20,9
Новогрудок	35,1	51,1	16,0	45,6
Горки	33,6	45,9	12,3	36,6
Могилев	45,4	48,1	2,7	5,9
Бобруйск	42,2	45,6	3,4	8,0
Барановичи	42,0	47,3	5,3	12,6
Полесская	46,8	48,5	1,7	3,6
Брест	49,1	56,7	7,6	15,5
Пинск	35,6	44,3	8,7	24,4
Гомель	39,8	48,1	8,3	20,8
Василевичи	44,3	49,0	4,8	10,8
<i>Средняя по станциям (по Беларуси):</i>	40,0	50,1	9,6	23,5

На рис. 4 показаны общие тенденции изменения числа дней с твердыми и жидкими осадками за холодный период по территории Беларуси на станциях Верхнедвинск, Минск и Брест. Следует отметить, что на севере и центре (станции Верхнедвинск и Минск) число дней с твердыми осадками за холодный период превышает количество дней с жидкими осадками практически в течение всего исследуемого периода (1961–2018), за исключением отдельных лет. На юге страны (станция Брест) примерно с 2003 г. (рис. 4, в) наблюдается тенденция превышения количества дней с жидкими осадками в холодный период. Этот пример показывает, что применение методики, использовавшейся ранее при подготовке климатических справочников [10] для расчета месячного и годового количества твердых, жидких и смешанных осадков (в мм) по соотношению числа дней с твердыми, жидкими и смешанными осадками, неприемлемо в настоящее время в связи с изменением этого соотношения. В Беларуси во все зимние месяцы наблюдаются твердые, смешанные и жидкие осадки. Количество осадков различного вида слу-

жит дополнительной характеристикой к общему количеству осадков. Это важно учитывать при планировании строительных и других работ на открытом воздухе. В связи с этим необходимы новые методические разработки для получения расчетных данных по количеству жидких, твердых и смешанных осадков (в мм) в холодный период года.

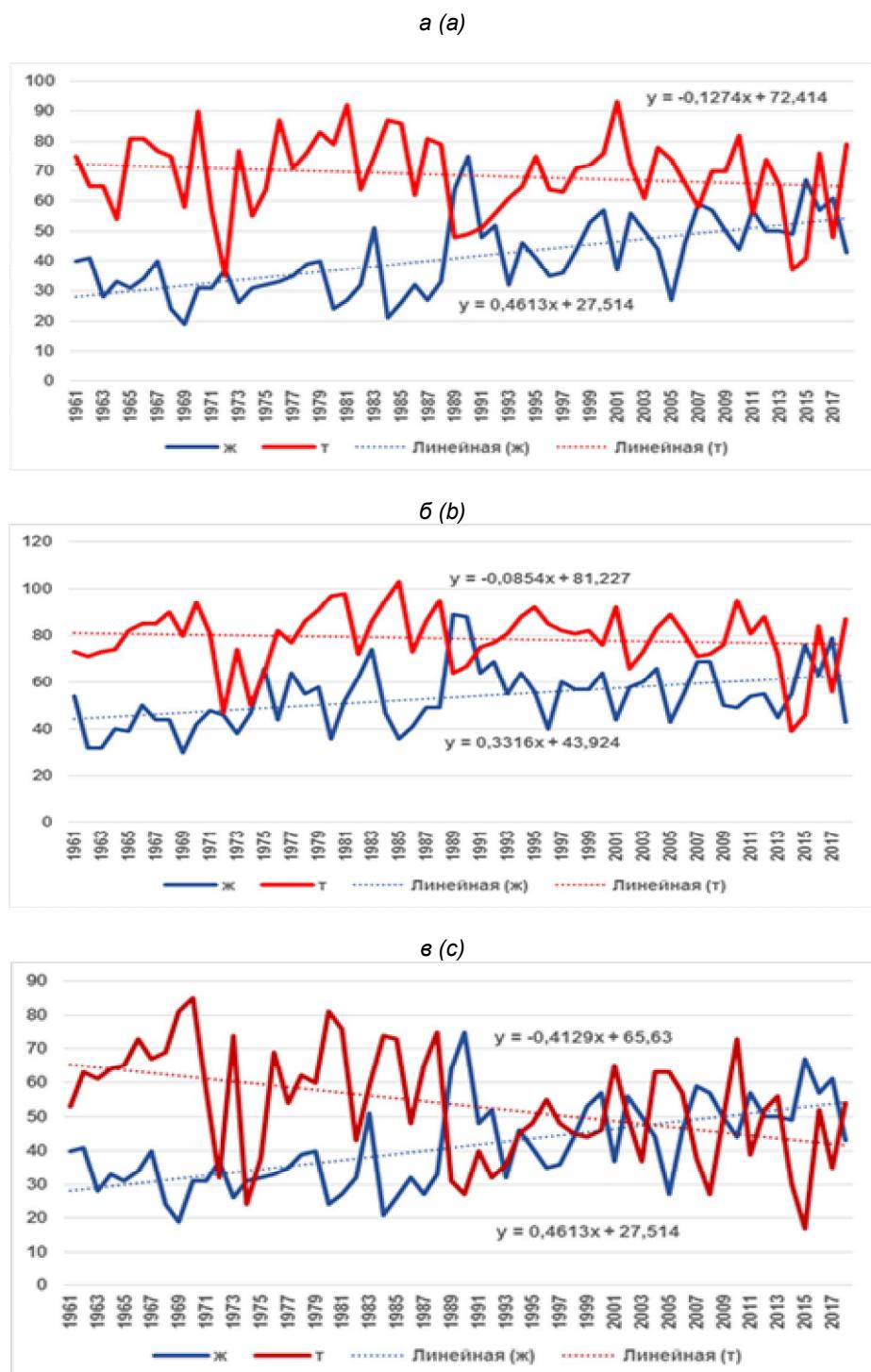


Рис. 4. Изменение количества дней с жидкими (ж) и твердыми (т) осадками по территории Беларуси за холодный период (XI–III) на станциях: а – Верхнедвинск; б – Минск; в – Брест

Fig. 4. Change in the number of days with liquid and solid precipitation in Belarus over the cold period (XI–III) on stations: a – Verkhnedvinsk; b – Minsk; c – Brest

Выводы. Отмечено увеличение количества осадков и амплитуды их колебаний в холодный период за период потепления. Получены новые данные по изменению количества и вида атмосферных осадков в холодный период года на территории Беларуси за период с 1961 по 2018 г. Показано, что за период современного потепления (1989–2018) по сравнению с периодом 1961–1988 гг. количество дней с твердыми осадками уменьшается (в среднем на 13,2 дней, или на 19 %). Число дней с жидкими осадками в среднем увеличилось на 10 дней, или на 24,0 %.

Наибольшее уменьшение количества дней с твердыми осадками происходит в западной и юго-западной частях республики. Наибольшее увеличение количества дней с жидкими осадками наблюдается в северной части страны. Наибольшее изменение (уменьшение) количества дней с твердыми осадками за период потепления отмечено в переходный период (ноябрь, март). Наибольшее увеличение количества дней с жидкими осадками в холодный период наблюдается в январе и феврале, что хорошо согласуется с ростом среднемесечных температур за эти месяцы в период потепления.

В связи с изменением соотношения числа дней с твердыми и жидкими осадками за период потепления необходимы новые подходы для получения расчетных данных по количеству жидких, твердых и смешанных осадков (в мм) в холодный период года.

Список использованных источников

1. Оценка влияния урбанизации и мелиорации на климатические, водные, земельные и лесные ресурсы Беларуси. «Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период потепления. Выбор критериев агроклиматического районирования» : отчет о НИР (заключ.) / Белгидромет. – Минск, 2016. – 103 с. – № ГР 20163200.
2. Парасенок, И. С (Данилович) Повторяемость циклонов различных направлений и формирование условий возникновения наводнений на реках Беларуси / И. Парасенок, П. Грайсман, Г. Чекан, В. Мельник // Актуальные научно-технические и экологические проблемы сохранения среды обитания : сб. науч. ст. Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 6–8 апр. 2016 г.; в 2 ч. – Брест, 2016. – Ч. 1. – С. 235–243.
3. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменении климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М. : Росгидромет, 2014. – С. 72–81.
4. Данилович, И. С. Особенности режима увлажнения территории Беларуси в связи с изменяющимся климатом / И. С. Данилович, В. И. Мельник // Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к 1000-летию г. Бреста, Брест, 12–14 сент. 2019 г. : в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т, им. А. С. Пушкина, Брест, Гос. техн. ун-т. – Брест : БрГУ, 2019, – Ч. 1. – С. 208–211.
5. Гаврилова, С. Ю. Устранение неоднородности временных рядов атмосферных осадков и их использование для анализа изменений режима увлажнения на территории России : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. – СПб., 2010.
6. Оценка влияния урбанизации и мелиорации на климатические, водные, земельные и лесные ресурсы Беларуси. «Оценка пространственно-временных особенностей роли мелиорации земель в современных изменениях климата и продуктивности экосистем Беларуси с использованием статистических методов и математического моделирования» : отчет о НИР (промеж.). ГПНИ Природопользование и экология, 2016–2020, подпрограмма 1 «Природные ресурсы и экологическая безопасность» задание № 1.06. – Минск, 2018. – 163 с. – № ГР 20160128.
7. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – Вып. 3, ч. 1. – 300 с.
8. Лысенко, С. А. Сеточный архив метеорологических данных для Республики Беларусь и возможности его применения для исследования пространственно-временных особенностей изменений климата / С. А. Лысенко, В. Д. Чернышев, В. В. Коляда // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 17–27.
9. Мельник В. И. Особенности изменения климата на территории Республики Беларусь за последние десятилетия / В. И. Мельник, Е. В. Комаровская // Научно-методическое обеспечение деятельности по охране окружающей среды: проблемы и перспективы : сб. науч. тр. – Минск : БелНИЦ «Экология», 2011. – С. 77–84.
10. Научно-прикладной справочник по климату СССР. – Сер. 3, Многолетние данные. – Ч. 1–6, вып. 7. – Л. : Гидрометеоиздат, 1968.

References

1. Oczenka vliyaniya urbanizacii i melioracii na klimaticheskie, vodnye, zemel'nye i lesnye resursy Belarusi [Assessment of the impact of urbanization and land reclamation on the climate, water, land and forest resources of Belarus]. «Oczenka agroklimaticheskikh resursov territorii Belarusi za period potepleniya. Vy'bor kriteriev agroklimaticheskogo rajonirovaniya» [Assessment of agro-climatic resources of the territory of Belarus for the period of warming. Choice of agroclimatic zoning criteria]. Otchet o NIR (zaklyuchitel'nyj) [Research report (final), State registration number 20163200, Belhydromet]. Minsk, 2016, 103 p. (in Russian)

2. Partasenok I. S. (Danilovich), Grojsman P., Chekan G., Mel'nik V. *Povtoryaemost' cyklonov razlichnykh napravlenij i formirovaniye usloviy vozniknoveniya navodnenij na rekakh Belarusi* [Repeatability of cyclones of various directions and the formation of flood conditions on the rivers of Belarus]. *Aktual'nye nauchno-tehnicheskie i ekologicheskie problemy sokhraneniya sredy obitaniya* [Actual scientific, technical and environmental problems of habitat conservation]. Sb. nauch. statej Mezhd. nauch.-prakt. konf. Brest [Proc. Int. science. Conf. Brest, Apr. 6–8, 2016; at 2 h.], Brest, 2016, Part 1, pp. 235–243. (in Russian)
3. *Vtoroj oczenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmenenii klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossijskoj Federacii* [The second evaluation report of Roshydromet on climate change and their consequences in the Russian Federation], Roshydromet, Moscow, 2014, pp. 72–81. (in Russian)
4. Danilovich I. S., Mel'nik V. I. *Osobennosti rezhima uvlazhneniya territorii Belarusi v svyazi s izmenyayushchimya klimatom* [Features of the humidification regime of the territory of Belarus in connection with a changing climate]. Sbornik materialov IV-j Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Aktual'nye problemy nauk o Zemle: issledovaniya transgranichnykh regionov», priurochennoj k 1000-letiyu g. Bresta [Proc. of the IV International Scientific and Practical Conference "Actual Problems of Earth Sciences: Studies of Transboundary Regions", dedicated to the 1000th anniversary of Brest, Brest, September 12–14, 2019: at 2 Parts. Institute of Nature Management of the NAS of Belarus, Brest. un-t, named after A. S. Pushkin, Brest. State Technical University; Brest: Br. GU, 2019, Part 1], pp. 208–211. (in Russian)
5. Gavrilova S. Yu. *Ustranenie neodnorodnosti vremennykh ryadov atmosfernykh osadkov i ikh ispol'zovanie dlya analiza izmenenij rezhima uvlazhneniya na territorii Rossii*. Avtoreferat dissert. kand. geograf. nauk [Elimination of the heterogeneity of the time series of precipitation and their use for the analysis of changes in the humidification regime in Russia. Abstract Cand. geogr. sci.]. St. Petersburg, 2010. (in Russian)
6. *Oczenka vliyanija urbanizacii i melioracii na klimaticheskie, vodnye, zemel'nye i lesnye resursy Belarusi* [Assessment of the impact of urbanization and land reclamation on the climatic, water, land and forest resources of Belarus]. *Oczenka prostranstvenno-vremennykh osobennostej roli melioracii zemel' v sovremennykh izmeneniyakh klimata i produktivnosti ekosistem Belarusi s ispol'zovaniem statisticheskikh metodov i matematicheskogo modelirovaniya* [Assessment of the spatio-temporal features of the role of land reclamation in modern climate change and the productivity of ecosystems in Belarus using statistical methods and mathematical modeling]. *Otchet o NIR (promezhutochnyy)* [Research report (interim), state registration number 20160128. GPNI Nature Management and Ecology, 2016–2020, subprogram 1 "Natural resources and environmental safety" assignment No. 1.06]. Minsk, 2018, 163 p. (in Russian)
7. *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stanciyam i postam* [Advice to hydrometeorological stations and posts]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985, issue 3, part 1, 300 p. (in Russian)
8. Ly'senko S. A., Chernyshhev V. D., Kolyada V. V. *Setochnyj arkhiv meteorologicheskikh dannych dlya Respubliki Belarusi i vozmozhnosti ego primeneniya dlya issledovaniya prostranstvenno-vremennykh osobennostej izmenenij klimata* [Grid archive of meteorological data for the Republic of Belarus and the possibility of its use for studying the spatio-temporal features of climate change]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2019, No. 1, pp. 17–27. (in Russian)
9. Mel'nik V. I., Komarovskaya E. V. *Osobennosti izmenenija klimata na territorii Respubliki Belarusi za poslednie desyatiletija* [Features of climate change on the territory of the Republic of Belarus over the past decades]. Sbornik nauchnykh trudov "Nauchno-metodicheskoe obespechenie deyatel'nosti po okhrane okruzhayushhej sredy: problemy i perspektivy" [Proc. Scientific and methodological support for environmental protection: problems and prospects]. Minsk, Bel Research Center "Ecology", 2011, pp. 77–84. (in Russian)
10. *Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3. Mnogoletnie dannye. Chast' 1–6, vyp. 7* [Scientific-applied reference book on the climate of the USSR. Series 3. Perennial data. Part 1–6, issue 7]. Gidrometeoizdat, Leningrad, 1968. (in Russian)

Информация об авторах

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

Буяков Иван Васильевич – мл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: buyakov-ivan@mail.ru

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

Information about the authors

Victar I. Melnik – Ph. D. (Geography), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: v.melnik2016@mail.ru

Ivan V. Buyakov – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: buyakov-ivan@mail.ru

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

ИЗМЕНЕНИЕ СУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В ПЕРИОД С 1955 ПО 2015 г.

Т. Г. Табальчук

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. В работе проанализировано изменение количества аномалий среднесуточной температуры воздуха. Показано существенное сокращение количества отрицательных и увеличение положительных аномалий температуры в период современного потепления климата (1988–2015 гг.). Наибольшее количество крупных отрицательных аномалий приходится на январь–март периода 1955–1974 гг., а положительных – на июль–сентябрь в период с 1995 по 2015 г. Такое увеличение количества положительных аномалий среднесуточной температуры воздуха связано с изменением характера потепления климата на территории Беларуси с зимнего типа на летний. Как показывает анализ скорости роста максимальных и минимальных суточных температур, в период с 1995 по 2015 г. рост максимальных и минимальных температур в летний период по сравнению с 1977–1994 гг. сохраняется, в то время как в зимний период существенно замедляется. Помимо положительных аномалий температуры в период современного потепления климата увеличивается также количество дней со среднесуточной температурой воздуха больше 25 °C. Наиболее существенно повторяемость таких дней возрастает в июле и августе. Помимо этого, среднесуточные температуры более 25 °C стали чаще повторяться в мае, а также появились в сентябре, чего не случалось в предшествующий период (1955–1987 гг.). Такое увеличение количества положительных аномалий температуры может негативно сказываться на здоровье населения.

Ключевые слова: изменения климата; температурные аномалии; современное потепление; рост температуры; максимальные температуры.

Для цитирования. Табальчук Т. Г. Изменение суточной температуры воздуха на территории Беларуси в период с 1955 по 2015 г. // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 52–61.

DAILY AIR TEMPERATURE CHANGE IN BELARUS DURING THE PERIOD 1955–2015

T. G. Tabalchuk

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

Abstract. The change of the anomalies number of daily average air temperature is analyzed in the work. The significant decrease of the number of negative and the increase of positive temperature anomalies during the period of the global warming (1988–2015) are shown. The significant amount of big negative anomalies is in January–March in the period of 1955–1974, and positive – in July–September in the period from 1995 to 2015. Such an increase of the number of the positive anomalies of daily average air temperature is connected to the change of the character of climate warming to summer one. The increase of maximum and minimum daily temperatures for the period of 1995–2015 in the summer period in comparison to 1977–1994 is conserved, while in the winter is significantly slows down as the analysis of the speed of maximum and minimal temperatures in the summer period shows. Despite the positive anomalies of temperature for the period of modern climate change the number of days with the average daily temperature of more than 25 °C is increased. The repetition of such days increases more significantly in July and August. Besides, the average daily temperatures more than 25 °C become to repeat much more often in May, and also appear in September, what was not in the previous period (1955–1987). Such an increase in the number of the positive anomalies of temperature can effect negatively on humans' health.

Keywords: climate change; temperature anomalies; modern warming; temperature rise; maximum temperatures.

For citation. Tabalchuk T. G. Daily air temperature change in Belarus during the period 1955–2015. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 52–61.

Введение. Современное потепление климата достоверно установлено [1]. На территории Беларуси интенсивный рост аномалий среднегодовых температур наблюдается с 1988 г. [2]. Такое рост должен приводить к изменению количества аномалий среднесуточной температуры Беларуси.

Для оценки изменения аномальности среднесуточной температуры в годовом ходе нами были использованы данные среднесуточной температуры в Беларуси за период с 1955 по 2015 г., для кото-

рых было определено среднеквадратическое отклонение (σ) температуры для каждого дня года. Далее определены дни с положительными ($> +\sigma$) и отрицательными ($< -\sigma$) аномалиями значений среднесуточной температуры воздуха, а также дни с крупными положительными ($> +2\sigma$) и отрицательными ($< -2\sigma$) аномалиями. Известно, что интервал $[-\sigma; +\sigma]$ включает 68 % выборки нормального распределения, в то время как интервал $[-2\sigma; +2\sigma]$ – 96 %. При этом самые крупные положительные или отрицательные аномалии температуры наиболее интересны для практики, поскольку именно они оказывают наибольшее влияние на погодозависимые отрасли экономики, а также здоровье населения.

Важным показателем изменения климата является изменение максимальных и минимальных суточных температур. Оно позволяет определить, за счет каких именно температур, дневных либоочных, изменяется аномальность среднесуточной температуры. По имеющимся в распоряжении данным для 40 метеостанций Беларуси за период с 1 января 1977 г. по 30 апреля 2015 г. нами было получено пространственное распределение величины линейных трендов среднелетних и среднезимних максимальных и минимальных температур за доступный период. Для последующего анализа скорости изменения максимальных и минимальных температур, как это принято, рассмотрена скорость их изменения за 10-летний период.

Результаты исследований. Аномалии среднесуточной температуры. На рис. 1 показано изменение количества дней с аномалиями температуры, а в табл. 1 приведены годы с максимальным количеством дней с аномалиями температуры.

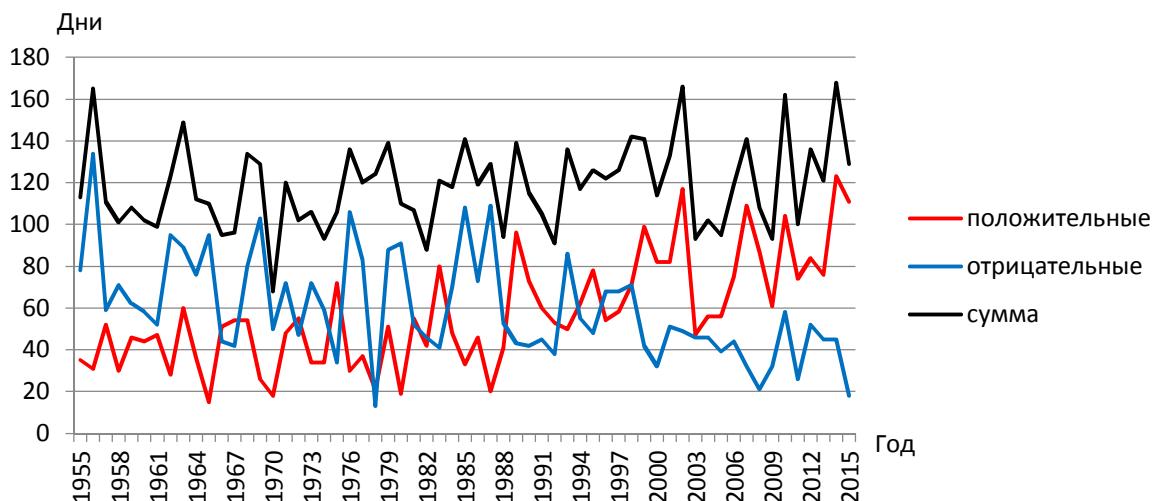


Рис. 1. Количество дней с аномалиями среднесуточной температуры воздуха для периода с 1955 по 2015 г.

Fig. 1. The number of days with anomalies in average daily air temperature for the period 1955–2015

Таблица 1. Годы с наибольшим количеством дней с аномалиями температуры за период с 1955 по 2015 г.

Table 1. Years with a maximum number of days with temperature anomalies for the period 1955–2015

Положительные		Отрицательные		Общее количество	
год	количество	год	количество	год	количество
2014	123	1956	134	2014	168
2002	117	1987	109	2002	166
2015	111	1985	108	1956	165
2007	109	1976	106	2010	162
2010	104	1969	103	1963	149
1999	99	1962	95	1998	142
1989	96	1965	95	1985	141
2008	87	1980	91	1999	141
2012	84	1963	89	2007	141
2000, 2001	82	1979	88	1979, 1989	139

Количество дней с положительными аномалиями температуры в рассмотренный период (1955–2015 гг.) растет (рис. 1). Все годы с наибольшим количеством положительных аномалий при этом приходятся на период современного потепления климата (1988–2015 гг.) (табл. 2). Количество дней с отрицательными аномалиями температуры в рассмотренный период, наоборот, падает (рис. 1). Годы с наибольшим количеством дней с отрицательными аномалиями приходятся на период, предшествующий современному потеплению (1955–1987 гг.) (табл. 2). Между тем суммарное количество дней с аномалиями температуры в целом в рассмотренный период изменяется не так существенно (рис. 1). В целом отмечается небольшой рост: величина линейного тренда составляет 0,26. При этом годы с наибольшим количеством аномалий приходятся на весь доступный период (табл. 2), однако из 4 лет с наибольшим количеством дней с аномалиями температуры воздуха (> 160 дней) три приходятся на период современного потепления климата (2014, 2002, 2010 г.) и только один – на предшествующий ему период (1956 г.).

Количество дней с аномалиями значений среднесуточной температуры воздуха ($> \sigma$) за весь доступный период (1955–2015 гг.), период современного потепления климата (1988–2015 гг.) и предшествующий ему период (1955–1987 гг.) показывает, что для всего доступного периода в зимний период число отрицательных аномалий температуры несколько больше, чем положительных (табл. 2). В период до потепления (1955–1987 гг.) во все месяцы года число отрицательных аномалий температуры было существенно больше, чем положительных. Особенно это выражено в январе–марте и в июле (табл. 2). В период потепления (1988–2015 гг.) складывается противоположная ситуация, когда число положительных аномалий температуры больше, чем отрицательных (табл. 2).

Таблица 2. Количество дней с аномалиями температуры в различные месяцы года

Table 2. The number of days with temperature anomalies in different months of the year

Месяц	Аномалии	1955–2015 гг.	1955–1987 гг.	1988–2015 гг.
Январь	Положительные	4,5	2,2	7,2
	Отрицательные	5,6	7,2	3,8
Февраль	Положительные	4,1	2,2	6,4
	Отрицательные	5,0	6,3	3,5
Март	Положительные	4,8	2,2	7,9
	Отрицательные	4,9	6,8	2,7
Апрель	Положительные	5,2	3,8	6,8
	Отрицательные	5,1	6,6	3,3
Май	Положительные	5,3	4,8	5,8
	Отрицательные	5,5	6,1	4,8
Июнь	Положительные	5,0	4,4	5,6
	Отрицательные	5,0	6,0	3,8
Июль	Положительные	5,0	2,9	7,6
	Отрицательные	5,5	7,6	3,0
Август	Положительные	4,9	3,4	6,7
	Отрицательные	4,9	6,7	2,8
Сентябрь	Положительные	5,2	4,5	6,0
	Отрицательные	5,0	6,0	3,8
Октябрь	Положительные	5,0	4,1	6,0
	Отрицательные	4,9	4,8	5,0
Ноябрь	Положительные	4,5	3,3	5,9
	Отрицательные	4,9	4,7	5,0
Декабрь	Положительные	3,8	3,1	4,6
	Отрицательные	4,9	5,2	4,5

В целом наибольшие различия в повторяемости положительных и отрицательных аномалий до потепления и после потепления наблюдается во второй половине лета, а также в январе–марте. При этом второй из названных периодов имеет характерную особенность: в последнюю декаду января наблюдается противоположная по величине флюктуация в изменении повторяемости положительных и отрицательных аномалий температур.

Соотношение количества дней с положительными ($> +\sigma$) и отрицательными ($< -\sigma$) аномалиями в различные месяцы года для различных периодов показывает, что для всего доступного периода соотношение положительных и отрицательных аномалий колеблется около 1, что говорит о приблизительно равном соотношении температурных аномалий разного знака. Исключение составляют зимние месяцы, когда соотношение положительных и отрицательных аномалий несколько ниже и изменяется от 0,78 в декабре до 0,82 в феврале. В период, предшествующий современному потеплению климата

(1955–1987 гг.), соотношение количества дней с положительными и отрицательными аномалиями сокращается и изменяется в пределах от 0,31 (январь) до 0,85 (октябрь). Наиболее сильно названное соотношение уменьшается в январе–марте и июле. Наименьшие изменения приходятся на май–июнь и сентябрь–декабрь. В период современного потепления соотношение количества дней с положительными и отрицательными аномалиями, наоборот, увеличилось. Максимальное увеличение пришлось на март (2,93), а также на апрель и июль–август. В целом наибольшие изменения в соотношении количества дней с положительными и отрицательными аномалиями между периодом современного потепления и предшествующим ему периодом пришлось на январь–апрель и июль–август.

Распределение дней с положительными и отрицательными аномалиями температуры приведено на рис. 2.

В период современного потепления с 1988 г. особенно увеличилось число положительных аномалий в январе–апреле (рис. 2, а). Однако в 2000-е годы картина внутригодового распределения положительных аномалий несколько меняется: сокращается количество аномалий в холодный период (январь–март), но в то же время увеличивается летом и осенью, меняя тем самым годовой (сезонный) характер потепления. Схожая, но с обратным знаком, картина наблюдается в распределении отрицательных аномалий (рис. 2, б). В январе–марте количество отрицательных температурных аномалий начинает сокращаться с 1988 г., а в летне–осенний период – после 2000 г.

Внутри- и межгодовое распределение температурных аномалий изменится, если учитывать только наиболее крупные аномалии, выходящие за пределы 2σ . На рис. 3 приведено количество дней с крупными положительными ($> +2\sigma$) и крупными отрицательными ($< -2\sigma$) аномалиями среднесуточной температуры воздуха.

Как видно из рис. 3, до начала современного потепления крупные отрицательные температурные аномалии существенно преобладали над положительными. С конца 1980-х количество крупных положительных аномалий начинает увеличиваться, однако количество крупных отрицательных аномалий все еще достаточно велико и превышает положительные. И только спустя десятилетие, с конца 1990-х годов, когда рост крупных положительных аномалий начинает сопровождаться падением отрицательных, количество положительных аномалий превышает количество отрицательных. Это означает, что сумма числа дней с крупными аномалиями температуры, а, следовательно, и аномальность температуры, была выше в период до потепления (1955–1987 гг.). Причем эта аномальность была характерна для крупных отрицательных аномалий температуры, тогда как в начале текущего столетия она была более характерна для крупных положительных аномалий. Этот же вывод подтверждается данными, приведенными в табл. 3.

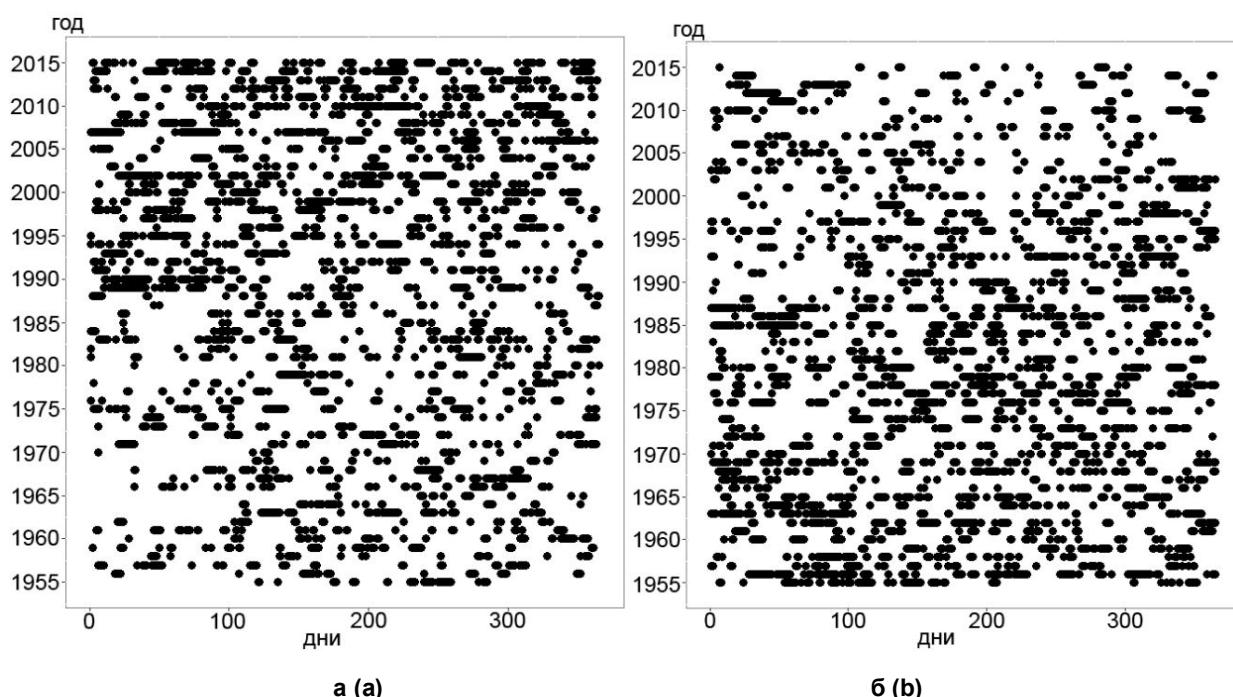


Рис. 2. Распределение дней с положительными (а) и отрицательными (б) аномалиями температуры за период с 1955 по 2015 г.

Fig. 2. Distribution of days with positive (a) and negative (b) temperature anomalies for the period 1955–2015

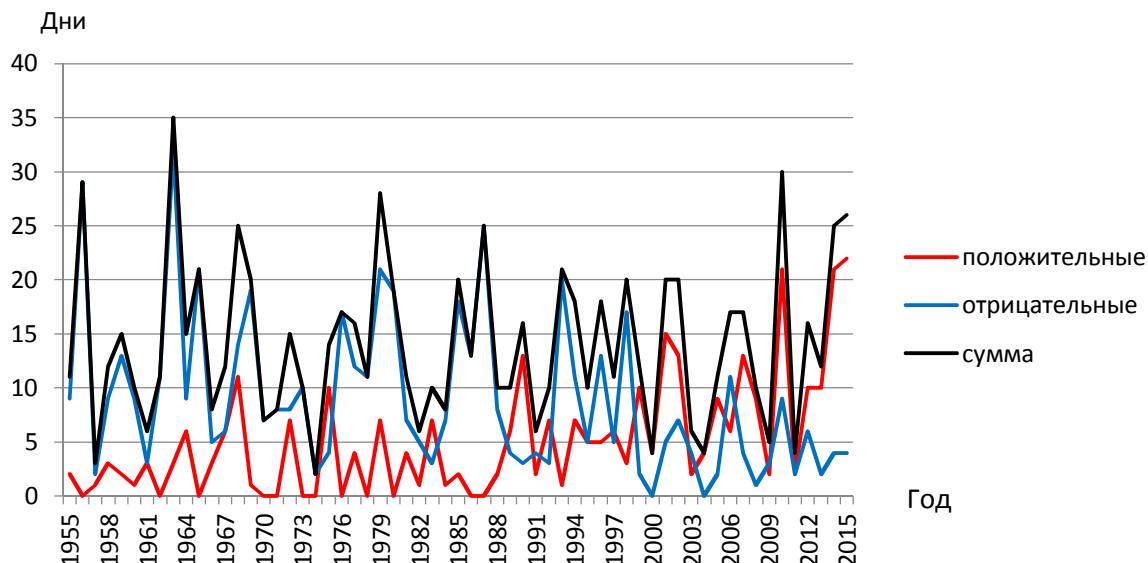


Рис. 3. Количество дней с крупными аномалиями среднесуточной температуры воздуха для периода 1955–2015 гг.

Fig. 3. The number of days with large anomalies in the average daily air temperature for the period 1955–2015

Таблица 3. Годы с наибольшим количеством дней с крупными аномалиями температуры за период с 1955 по 2015 г.

Table 3. Years with the largest number of days with large temperature anomalies for the period 1955–2015

Положительные		Отрицательные		Общее количество	
год	количество	год	количество	год	количество
2015	22	1963	32	1963	35
2010	21	1956	29	2010	30
2014	21	1987	25	1956	29
2001	15	1965	21	1979	28
1990	13	1979	21	2015	26
2002	13	1993	20	1968	25
2007	13	1969	19	1987	25
1968	11	1980	19	2014	25
1975, 1999	10	1985	18	1965	21
2012, 2013	10	1976, 1998	17	1993	21

Для всего доступного периода (1955–2015 гг.) крупные отрицательные аномалии среднесуточной температуры наблюдаются в течение всего года, при этом максимум их приходится на холодный период: октябрь–март. Максимум крупных положительных аномалий приходится на май–сентябрь. Характерной особенностью крупных положительных аномалий для всего доступного периода является полное их отсутствие в январе и первой половине февраля. Подобная ситуация наблюдается и в конце ноября–начале декабря. Если рассмотреть отдельно периоды 1955–1987 и 1988–2015 гг., можно заметить, что большая часть крупных положительных аномалий температуры приходится на период современного потепления (1988–2015 гг.), в то время как большая часть крупных отрицательных аномалий наблюдается в предшествующий период (1955–1987 гг.). При этом во время современного потепления в конце июня–августе крупные отрицательные аномалии среднесуточных температур полностью отсутствуют, а в январе–феврале отсутствуют крупные положительные аномалии.

Распределение дней с крупными положительными и отрицательными аномалиями температуры приведено на рис. 4.

Крупные положительные аномалии (рис. 4, а) практически не проявляются в зимнее время года. Низка их повторяемость также летом в середине 1980-х – начале 1990-х годов. Обратная ситуация наблюдается с крупными отрицательными аномалиями (рис. 4, б): наибольшая их повторяемость приходится на холодный период, а также на летний период конца 1970-х – начала 1990-х годов.

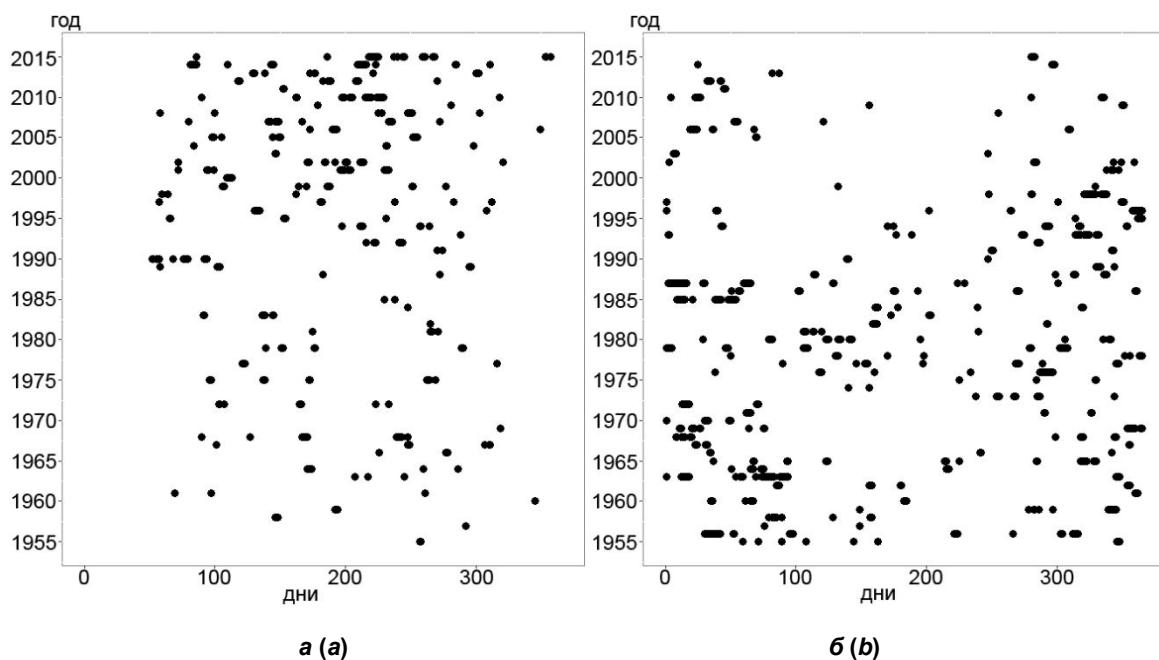


Рис. 4. Распределение дней с крупными положительными (а) и отрицательными (б) аномалиями температуры за период с 1955 по 2015 г.

Fig. 4. Distribution of days with large positive (a) and negative (b) temperature anomalies for the period 1955–2015

На рис. 5 приведено распределение количества дней с крупными положительными ($> +2\sigma$) и отрицательными ($< -2\sigma$) аномалиями температуры за период с 1955 по 2015 г.

Из рисунка видно, что максимальное количество крупных аномалий приходится на январь–март периода 1955–1974 гг. (всего 114 дней), при этом в большинстве случаев это отрицательные аномалии. Большое количество аномалий также приходится на июль–сентябрь в период с 1995 по 2015 г. (всего 105 дней), и большинство из них положительные.

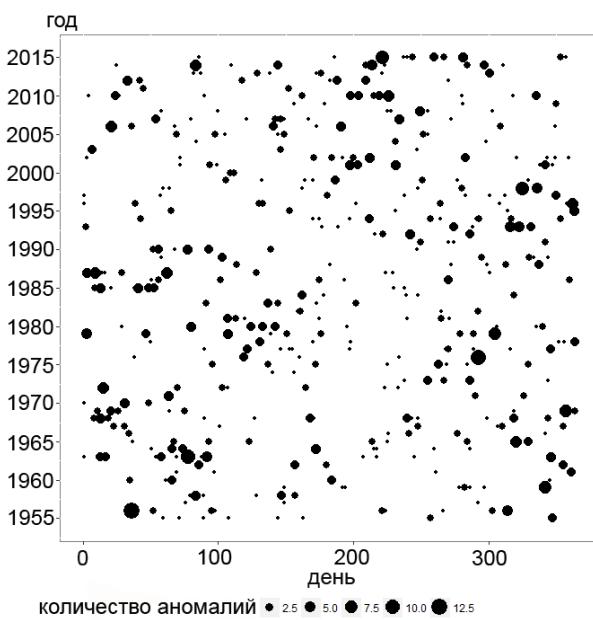


Рис. 5. Распределение количества дней с крупными аномалиями температуры в период с 1955 по 2015 г.

Fig. 5. Distribution of the number of days with large temperature anomalies in the period 1955–2015

Интерес представляет пространственное распределение положительных и отрицательных крупных положительных и отрицательных аномалий более 2σ .

Крупные положительные аномалии в зимний период практически не наблюдаются. В декабре по одному случаю зафиксировано на метеостанциях северной и центральной частей страны. В феврале – в районе Новогрудка–Минска–Полоцка. В январе положительных аномалий более 2σ не наблюдалось. В весенний период положительные аномалии более 2σ в марте и апреле наблюдаются на всей территории страны, в мае – в основном в северной и центральной частях. Повторяемость аномалий 0–2 случая в месяц за доступный период. Летом крупные положительные аномалии более 2σ проявляются наиболее часто: 1–3 случая на каждой станции ежемесячно за весь доступный период. При этом их пространственное распределение изменяется между месяцами: в июне наибольшее количество крупных положительных аномалий наблюдается на западе страны, в июле – в центральной и восточной частях, а в августе – в центральной, южной и западной частях. В сентябре 1–2 крупные аномалии наблюдаются в Гомельской и Могилевской областях, а также на отдельных станциях запада и северо-запада страны. В октябре крупные положительные аномалии наблюдаются на всей территории Беларуси, при этом наибольшее их количество приходится на юго-восток страны. В ноябре положительных температурных аномалий более 2σ на территории страны не фиксировалось.

Крупные отрицательные аномалии более 2σ в декабре наименьшую повторяемость имеют в Витебской области, а наибольшую – в Гродненской. В январе наибольшее количество крупных отрицательных аномалий наблюдается на востоке страны, а в феврале – на западе. В марте крупные отрицательные аномалии чаще всего наблюдаются на юго-востоке и практически отсутствуют на юго-западе. В апреле на западе и юго-западе повторяемость крупных отрицательных аномалий, наоборот, наибольшая. В мае на станциях Могилевской и Гомельской областей, а также на станции Марьина Горка крупные отрицательные аномалии наблюдались лишь один раз, на остальных стациях – два раза. В летние месяцы крупные отрицательные аномалии проявляются не более одного раза в июле (все метеостанции, за исключением отдельных станций Витебской, Могилевской, Гомельской и Брестской областей) и августе (отдельные станции Витебской, Могилевской и Гомельской областей). В июне крупных отрицательных аномалий более 2σ не наблюдалось. В сентябре крупные отрицательные аномалии наблюдаются на территории Витебской, а также отдельных станциях Гродненской, Минской и Могилевской областей. В октябре количество крупных отрицательных аномалий возрастает с юга на север. В ноябре наибольшее количество крупных аномалий наблюдалось в Гродненской и Брестской, а также в Витебской области.

Помимо статистических аномалий температуры нами была проанализирована повторяемость среднесуточных температур более 25°C в период современного потепления климата (1988–2015 гг.) и предшествующий ему период (1955–1987 гг.). Наиболее существенно повторяемость таких случаев возрастает в июле и августе в центральных и южных районах страны. Стоит также отметить, что в период современного потепления среднесуточные температуры более 25°C стали чаще повторяться в мае, а также появились в сентябре, чего не случалось в предшествующий период.

Изменение скорости роста максимальных и минимальных суточных температур. Изменение скорости роста максимальных и минимальных температур в зимний и летний период на территории страны происходит неравномерно. Для максимальных температур в зимний период более высокая скорость роста ($> 0,4^{\circ}\text{C}/10$ лет) наблюдается в основном в северной и центральной частях страны. Максимальная скорость роста наблюдается на метеостанции Шарковщина ($0,51^{\circ}\text{C}/10$ лет), а минимальная – на метеостанции Гродно ($0,17^{\circ}\text{C}/10$ лет). Летом изолинии скорости роста максимальных температур проходят в субмеридиональном направлении. При этом наибольшая скорость роста фиксируется на метеостанциях Витебск и Марьина Горка ($0,93$ и $0,91^{\circ}\text{C}/10$ лет соответственно), а наименьшая – на метеостанции Гродно ($0,47^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Для скорости роста минимальных температур на территории Беларуси характерны менее заметные особенности пространственного распределения. В зимний период наибольшая скорость роста наблюдается в Витебской области ($> 0,9^{\circ}\text{C}/10$ лет), что вполне естественно, поскольку величина скорости потепления климата растет с широтой, а наименьшая – на метеостанциях Брест и Высокое. Выпадает из этой закономерности станция Мозырь, где скорость роста минимальных температур близка по значению к скорости роста в северных районах. Для летнего периода наибольшая скорость роста ($> 1^{\circ}\text{C}/10$ лет) наблюдается на метеостанции Мозырь, а наименьшая ($< 0,5^{\circ}\text{C}/10$ лет) – на метеостанциях Верхнедвинск, Лынтупы, Пружаны, Бобруйск, Василевичи.

В целом следует отметить, что доступный ряд содержит в себе несколько периодов, на протяжении которых, очевидно, скорость роста максимальных и минимальных температур изменялась. Накладываясь друг на друга, эти периоды могут давать «смазанную» картину пространственного распределения скорости роста максимальных и минимальных температур по территории Беларуси. Это,

возможно, связано как с региональными причинами изменений скорости роста температуры (особенности подстилающей поверхности, определяющие альbedo), так и с малыми выборками.

На рис. 6 представлено изменение среднелетних и среднезимних максимальных температур для периодов до 1994 г. и после. Периоды выбраны неслучайно: после 1994 г. наблюдается значительное очищение атмосферы от аэрозолей, согласно данным Главной геофизической обсерватории имени А. Н. Войкова, ведущей мониторинг мутности атмосферы. Важным фактором уменьшения мутности атмосферы может быть отсутствие крупных вулканических извержений в последние годы: последним крупным извержением вулкана, выбросившим в атмосферу существенное количество аэрозоля, было извержение вулкана Пинатубо в июне 1991 г. Атмосферный аэрозоль оказывает значительное влияние в первую очередь на дневную (максимальную) температуру, поглощая солнечную радиацию и препятствуя ее поступлению к земной поверхности [3].

В распределении скорости роста максимальных температур четко прослеживается влияние континентальности: изолинии вытянуты преимущественно в меридиональном направлении. Исключение составляет только распределение среднезимних максимальных температур в период с 1995 по 2015 г., когда значение скорости роста максимальных температур зимой изменяется от слабых отрицательных ($-0,1^{\circ}\text{C}$) до незначительных положительных ($0,3^{\circ}\text{C}$) за десятилетие.

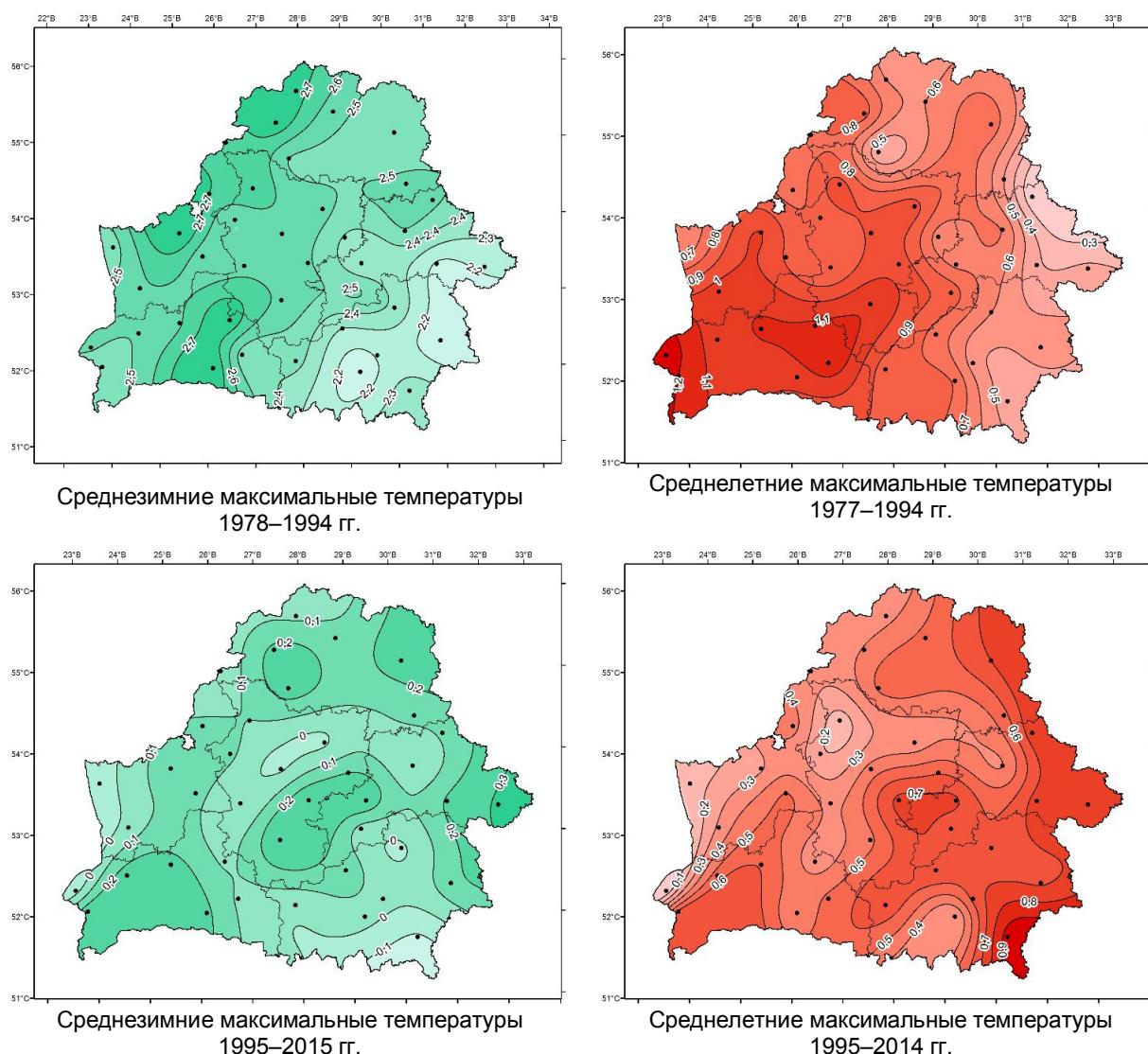


Рис. 6. Скорость изменения среднелетних и среднезимних максимальных температур для различных периодов, $^{\circ}\text{C}/10$ лет

Fig. 6. Rate of change in average summer and winter average maximum temperatures for different periods, $^{\circ}\text{C}/10$ years

В периоды 1978–1994 гг. для зимы и 1977–1994 гг. для лета скорость роста максимальных температур увеличивается с юго-востока на северо-запад (от 2,2 до 2,7 °C/10 лет) зимой и с востока на запад (от 0,3 до 1,2 °C/10 лет) летом. В периоды 1995–2015 гг. для зимы и 1995–2014 гг. для лета характер изменения максимальных температур во времени кардинально меняется. Зимой, как уже было сказано выше, рост максимальных температур практически прекращается. Летом же он лишь слегка замедляется, однако полностью изменяются его пространственные особенности. В период с 1995 по 2014 г. скорость роста максимальных температур увеличивается с запада на восток от 0,1 до 0,9 °C/10 лет. Таким образом, до 1994 г. скорость роста максимальных температур зимой была значительно выше, чем летом, а после 1994 г. – наоборот. Это говорит об изменении характера потепления в сезонном ходе в последние годы.

На рис. 7 представлено изменение среднелетних и среднезимних минимальных температур для периодов до 1994 г. и после. В период до 1994 г. скорость роста минимальных температур зимой изменяется от 4 °C/10 лет на севере до 3,1 °C/10 лет на юге. Наименьшая скорость роста наблюдается в районе метеостанции Полесская (2,6 °C/10 лет). Летом минимальные температуры наиболее интенсивно увеличиваются на метеостанциях Пинск (0,97 °C/10 лет) и Витебск (0,88 °C/10 лет). На метеостанции Кличев минимальные температуры уменьшаются со скоростью 0,36 °C/10 лет. На остальной территории страны скорость роста минимальных температур в летний период составляет 0,1–0,4 °C/10 лет.

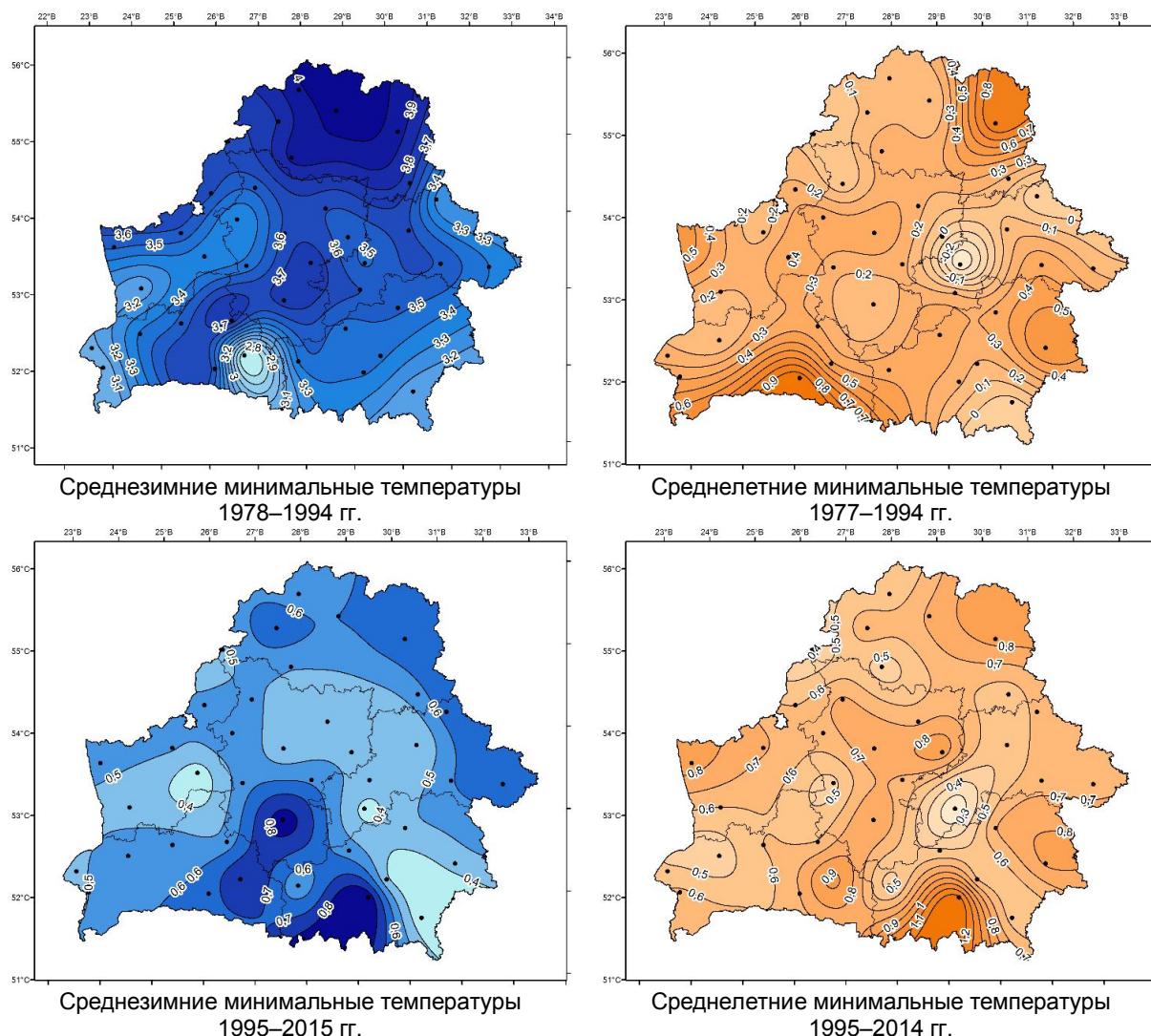


Рис. 7. Скорость изменения среднелетних и среднезимних минимальных температур для различных периодов, °C/10 лет

Fig. 7. Rate of change in average summer and average winter minimum temperatures for different periods, °C/10 years

После 1994 г. существенно уменьшается скорость роста минимальных температур зимой (0,4–0,8 °C/10 лет на всей территории страны). Летом наибольшая скорость роста минимальных температур наблюдается на метеостанции Мозырь (1,2 °C/10 лет), а наименьшая – на метеостанции Бобруйск (0,38 °C/10 лет). На остальной территории страны она составляет 0,5–0,8 °C/10 лет, т. е. увеличивается по сравнению с периодом до 1994 г.

Выводы. На территории Беларуси выявлено снижение скорости роста минимальных температур зимой и увеличение скорости роста максимальных температур летом, связанные, очевидно, со значительным очищением атмосферы от аэрозолей после 1994 г. Отдельные пространственные особенности в изменении скорости роста максимальных и минимальных температур связаны с изменением свойств подстилающей поверхности (альбедо, шероховатости) и урбанизацией территорий.

Увеличение повторяемости положительных аномалий температуры и сохранение темпов роста максимальных и минимальных температур в летний период могут иметь негативные последствия не только для климатозависимых отраслей экономики, но и для здоровья населения. Исследования Всемирной метеорологической организации [4] показывают, что случаи сильной жары влекут за собой учащение смертности среди населения. Кроме того, заболеваемость и смертность, связанные с жаркой погодой, являются признанной проблемой здравоохранения во всем мире. В период с 1980 по 2014 г. было выявлено 783 эпизода повышенной смертности людей в результате жары в 164 городах в 36 странах. При этом отмечается, что по крайней мере 20 дней в году около 30 % населения мира подвергается воздействию климатических условий, обусловливающих рост смертности. Наиболее уязвимой категорией являются люди пожилого возраста [5].

Список использованной литературы

1. Global Climate Report – Annual 2014 [Electronic resource] // NOAA/Nat. Centers for Environmental Information. – 2015. – Mode of access : <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201413>. – Date of access : 02.10.19.
2. Климат Республики Беларусь в 2015 году / под ред. М. Г. Герменчук. – Минск : Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, 2016. – 32 с.
3. Логинов, В. Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата / В. Ф. Логинов. – Минск : Беларуская навука, 2012. – 266 с.
4. Периоды сильной жары: угрозы и ответные меры // Бюллетень ВОЗ. – Сер. Здоровье и глобальное изменение окружающей среды. – 2005. – № 2. – 121 с.
5. Global risk of deadly heat / Mora C. [et al.] // Nature Climate Change. – 2017. – Vol. 7. – Pp. 501–506.

References

1. Global Climate Report – Annual 2014. Available at: <http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201413> (accessed 2 October 2019).
2. Klimat Respubliki Belarus v 2015 godu [Climate of the Republic of Belarus in 2015]. Under Ed. Germenchuk M. G. Minsk, Ministry of Natural Resources and Environmental Protection Publ., 2016, 32 p. (in Russian).
3. Loginov V. F. Radiacionnye factory i dokazatel'naya baza sovremennoy izmeneniy klimatea [Radiation factors and evidence base for modern climate change]. Minsk, Belarusian Science Publ., 2012, 266 p. (in Russian).
4. Periody silnoy zharyi: ugrozy i otvetnyie meryi [Heat waves: threats and responses]. Byulleten VOZ. Ser.: Zdorove i globalnoe izmenenie okruzhayuschej sredy [WHO Bulletin. Ser.: Health and global environmental change], 2005, no. 2, 121 p. (in Russian).
5. Mora C. [et al.] Global risk of deadly heat. Nature Climate Change, 2017, vol. 7, pp. 501–506.

Информация об авторе

Табальчук Татьяна Геннадьевна – мл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: tatyana_t.1@mail.ru

Information about the author

Tatsiana G. Tabalchuk – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: tatyana_t.1@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ РЕЛЬЕФООБРАЗУЮЩИЕ ПРОЦЕССЫ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГО-ЗАПАДНОЙ БЕЛАРУСИ

Е. А. Кухарик

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Показаны особенности проявления наиболее распространенных процессов современного экзогенного морфогенеза на территории юго-западной Беларуси. Выяснено, что эти процессы активно преобразуют земную поверхность региона, а экстремальные формы их проявления могут оказывать негативное влияние на геоэкологическую обстановку, нарушать природные комплексы, затруднять функционирование объектов инфраструктуры и др. Разработана классификация процессов и форм экзогенного рельефа, а также построена оригинальная схема современной экзогенной геодинамики исследуемого региона.

Ключевые слова: современные рельефообразующие процессы; рельеф земной поверхности; картографирование; юго-западная Беларусь.

Для цитирования. Кухарик Е. А. Современные экзогенные рельефообразующие процессы на территории юго-западной Беларуси // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 62–73.

MODERN EXOGENOUS RELIEF-FORMING PROCESSES IN THE TERRITORY OF SOUTH-WESTERN BELARUS

E. A. Kukharik

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

Abstract. The features of the manifestation of the most common processes of modern exogenous morphogenesis on the territory of south-western Belarus are shown. It was found that exogenous processes actively transform the earth's surface of the region, and extreme forms of their manifestation can have a negative impact on the geo-ecological situation, disrupt natural complexes, impede the functioning of infrastructure, etc. A classification of emerging relief forms is developed, and an original scheme of the modern exogenous geodynamics of the studied region.

Key words: modern relief-forming processes; relief earth's surface; mapping; south-western Belarus.

For citation. Kukharik E. A. Modern exogenous relief-forming processes in the territory of south-western Belarus. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 62–73.

Введение. Современные экзогенные рельефообразующие процессы на территории юго-западной Беларуси представлены разнообразными эрозионными (плоскостная и линейная эрозия водотоков), гравитационными процессами (крип, оползни, оплывины, обвалы, осыпи), карстом, суффозией, дефляцией и эоловой аккумуляцией, биогенным седименто- и морфогенезом. В результате проявления перечисленных процессов возникают характерные рельефные формы, отличающиеся строением, условиями образования и развития.

В настоящее время известны многочисленные работы, посвященные изучению особенностей проявления современного экзогенного морфогенеза на территории юго-западной Беларуси. Так, А. В. Матвеевым с соавторами была дана комплексная характеристика рельефа Белорусского Полесья, приведены сведения по истории развития земной поверхности [1–3]. В работах А. И. Павловского [4] и Н. А. Махнача [5] содержатся данные о водно-эрэзионных и гравитационных процессах, построены картосхемы, в общем виде характеризующие динамику и интенсивность проявления этих факторов в пределах изучаемого региона. Я. К. Еловичевой, Э. А. Крутоус, В. П. Зерницкой и Е. А. Козловым рассмотрены вопросы палеогеографии территории юго-западной Беларуси в квартере, наиболее подробно описаны основные черты эволюции озерного и в меньшей степени болотного осадконакопления. Динамику болотообразовательных процессов всесторонне рассмотрели А. П. Пидопличко, И. И. Лиштван, Н. Н. Бамбалов и др. История развития рельефа территории восточной части Подляско-Брестской впадины и его современная динамика исследовалась также Н. Ф. Гречаником [6] и М. А. Богдасаровым [7]. Эоловые процессы охарактеризованы В. В. Стецко, В. К. Лукашевым, А. В. Грибко и др. Эрозионно-аккумулятивные процессы в долинах рек и в зонах влияния водохранилищ проанализированы В. А. Кузнецовым, В. М. Широковым, П. С. Лопухом, В. Е. Левкевичем. Несмотря на многочисленные проведенные исследования, большинство работ ка-

сались территории Беларуси в целом. Исходя из этого, целью работы является установление особенностей проявления процессов современной экзогенной морфодинамики на территории юго-западной Беларуси, их влияния на природные и техногенные комплексы и геоэкологическую обстановку в регионе.

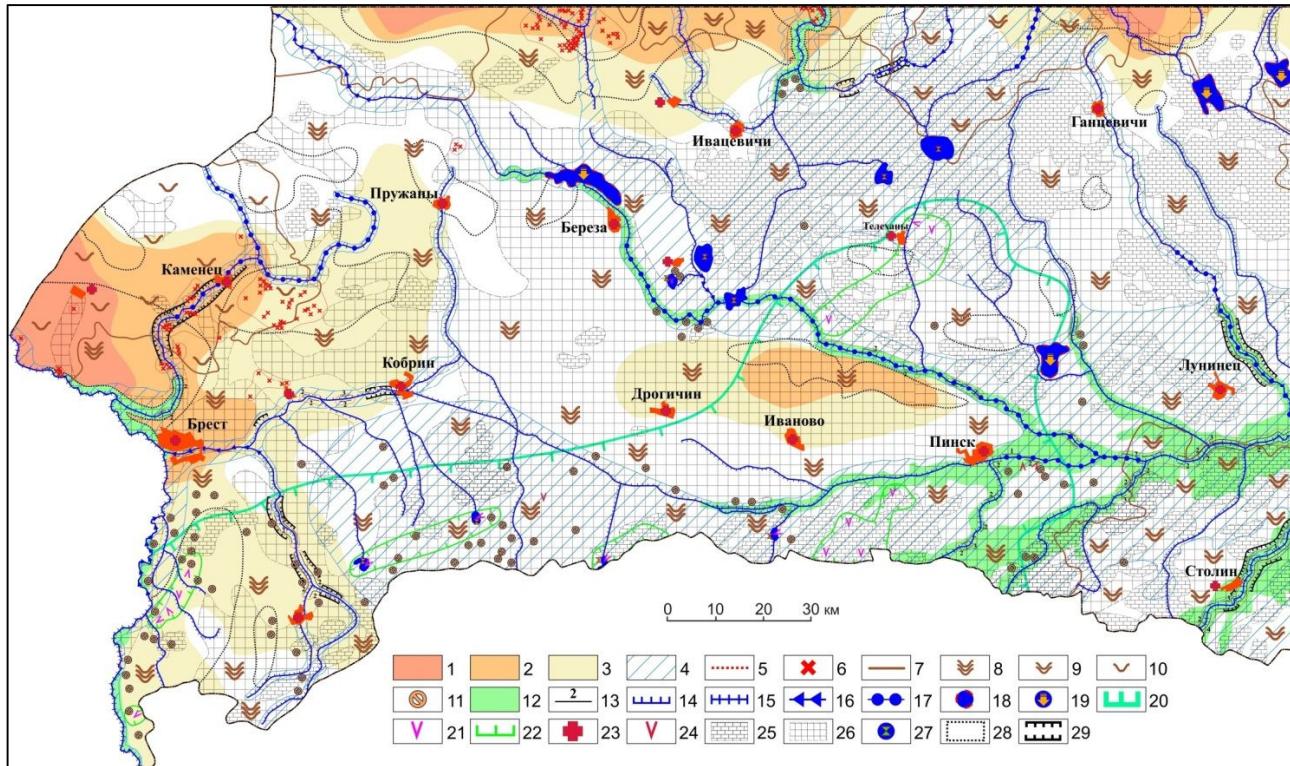
Материалы и методика. На основании обобщения материалов перечисленных авторов и собственных полевых исследований, дополненных данными изучения разномасштабных топокарт и аэрофотоснимков, была разработана классификация современных экзогенных рельефообразующих процессов и форм рельефа территории юго-западной Беларуси (см. таблицу), а также построена схема современной экзогенной геодинамики региона (см. рисунок). В составленной классификации группа процессов (форм рельефа) выделена по основному энергетическому источнику их генезиса, подгруппа – по ведущему геологическому фактору, тип и подтип – по форме и направленности проявления соответствующего геологического фактора.

Классификация современных экзогенных процессов и форм рельефа

Classification of modern exogenous processes and landforms

Группа	Подгруппа	Тип	* Подтип	Формы рельефа	Процесс, действующий на земную поверхность
Экзогенная	Аквальная	Обусловленные геологической деятельностью постоянных водотоков	А	Поймы, прирусловые валы, аллювиальные острова, косы, побочники, перекаты	Аккумуляция в поймах и руслах рек
			Д	Речные долины, русла рек, старицы, меандры	Донная и боковая эрозия
		Обусловленные геологической деятельностью временных водотоков	А	Конусы выноса, шлейфы	Плоскостная и линейная эрозия, аккумуляция
			Д	Промоины, овраги, балки, рывины, ложбины стока талых и дождевых вод	
		Обусловленные геологической деятельностью вод озер и водохранилищ	А	Аккумулятивные террасы, валы, косы, пляжи, пересыпи, знаки ряби	Транспорт и аккумуляция наносов
			Д	Абрационные и береговые уступы, террасы, волноприбойные ниши	Абрация, ледовая эрозия и термоэроздия
		Карстовый	Д	Котловины озер карстового происхождения, воронки	Карст
		Суффозионный	Д	Суффозионные воронки	Суффозия
	Гравитационная	Обвально-осыпной	А	Обвально-осыпные холмы, конусы, шлейфы	Обваливание, осыпание
			Д	Ниши обвально-осыпного сноса	
		Оползнево-оплывинный	А	Оползневые террасы и уступы, оплывины, валы	Оползание, оплывание
			Д	Уступы и поверхности оползания и оплыивания	
		Обусловленные периодическими изменениями температуры и влажности грунтов	А	Присклоновые уступы	Разуплотнение пород, крип
			Д	Треугольники	
	Эоловая	Обусловленные геологической деятельностью ветра	А	Дюны и дюнные комплексы, эоловые холмы, гряды, бугры, шлейфы	Дефляция, аккумуляция
			Д	Поля дефляции, дефляционные котловины, ниши, западины	Дефляция, транспорт и аккумуляция
	Биогенная	Фитогенный	А	Торфяные массивы, кочки, бугры, валы	Аккумуляция, разрушение органического вещества (сработка торфа)
			Д	Западины, котловины уплотнения и оседания	
		Зоогенный	А	Плотины бобров, муравейники, кротовины	Геологическая работа живых организмов
			Д	Скотобойные тропы, норы и ходы животных, гнездовые ямы	
	Пирогенная	Обусловленные термической деструкцией вещества	А	Зольные покровы, шлейфы, холмы, бугры	Термическое разрушение органического вещества, аккумуляция
			Д	Котловины выгорания, воронки	

* Подтип: А – аккумулятивный; Д – деструктивный.



Современные экзогенные рельефообразующие процессы на территории юго-западной Беларусь.

Плоскостная эрозия: 1 – интенсивностью более 2 мм/год; 2 – 1–2 мм/год; 3 – менее 1 мм/год; 4 – площади подтопления и затопления при половодьях и паводках; 5 – потенциальное проявление линейной эрозии временных водотоков; 6 – оврагообразование; 7 – потенциальное проявление дефляции; 8 – очень высокая вероятность; 9 – высокая вероятность; 10 – повышенная вероятность; 11 – золовые аккумулятивные образования; 12 – эрозионно-аккумулятивная деятельность в долинах рек; 13 – разрушение берегов (2 – высота берега, м); 14 – эрозионно-аккумулятивные процессы в спрямленных руслах рек и каналов.

Русловые процессы: 15 – свободное меандрирование; 16 – ограниченное меандрирование; 17 – пойменная многорукавность; 18 – эрозионные процессы в береговой зоне крупных водохранилищ; 19 – аккумулятивные процессы в котловинах крупных водохранилищ; 20 – районы потенциального развития карста; 21 – проявления карста, выраженные на земной поверхности; 22 – районы развития карста; 23 – районы потенциального развития супфузии; 24 – установленные проявления супфузии; 25 – торфонакопление; 26 – заболачивание земель; 27 – аккумулятивные процессы в озерных котловинах; 28 – крип; 29 – обвалы, оползни, осыпи

Modern exogenous relief-forming processes in the territory of southwestern Belarus.

Flat erosion: 1 – intensity of more than 2 mm/year; 2 – 1–2 mm/year; 3 – less than 1 mm/year; 4 – areas of flooding during high water; 5 – a potential manifestation of linear erosion of temporary streams; 6 – ravine formation; 7 – potential manifestation of deflation: 8 – very high probability; 9 – high probability; 10 – increased likelihood; 11 – aeolian accumulative formations; 12 – erosion-accumulative activity in river valleys; 13 – coastal destruction (2 – shore height in meters); 14 – erosion-accumulative processes in straightened riverbeds and canals.

Channel processes: 15 – free meandering; 16 – limited meandering; 17 – floodplain multi-sleeve; 18 – erosion processes in the coastal zone of large reservoirs; 19 – accumulative processes in the basins of large reservoirs; 20 – areas of potential karst development; 21 – manifestations of karst, expressed on the earth's surface; 22 – karst development areas; 23 – areas of potential development of suffusion; 24 – established manifestations of suffusion; 25 – peat accumulation; 26 – waterlogging of land; 27 – accumulative processes in lake basins; 28 – creep; 29 – collapse, landslides, talus

Результаты и их обсуждение. Плоскостная эрозия на освоенных в сельскохозяйственном отношении равнинах является распространенным современным экзогенным процессом. На развитие этого вида эрозии значительное влияние оказывают геоморфологические и климатические особенности территории, характер покровных отложений и растительности, параметры склонов (крутизна, длина, экспозиция). Так, по данным А. В. Матвеева [3], плоскостной смыв может протекать при крутизне склонов от 1° и более. Подобный процесс возникает в случае выпадения объема атмосферных

осадков, превышающего количество воды, необходимого для смачивания поверхности почвы и растительности [8].

С использованием топографических карт масштаба 1 : 100 000 проводилось измерение уклонов местности на территории юго-западной Беларуси и оконтуривание участков с потенциальной возможностью развития плоскостного смыва. Согласно полученным данным, можно сделать вывод о том, что развитие плоскостной эрозии на исследуемой территории возможно в западных, юго-западных, северных и центральных районах (Высоковская и Пружанская равнины, равнина Загородья, Новогрудская возвышенность). Площадь участков потенциального развития плоскостной эрозии составляет около 8440 км², из них 480 км² с интенсивностью смыва более 2 мм/год, 2220 км² с интенсивностью смыва 1–2 мм/год и 5740 км² – с интенсивностью смыва менее 1 мм/год. В районах с наибольшей интенсивностью проявления процесса (западная часть Высоковской равнины, южная часть Новогрудской возвышенности) ежегодный снос со склонов может достигать 32 т/га/год грунтов. В восточной части Высоковской равнины и в центральной части равнины Загородья возможен ежегодный смыв до 16 т/га/год. На остальной территории объем эродируемого значительно уступает приведенным выше показателям, что согласуется с данными, полученными Е. Ф. Зориной, Л. Ф. Литвиным и Р. С. Чаловым [9]. Согласно оценкам этих авторов, в пределах низменных равнин средняя интенсивность смыва 1–3 т/га/год, что полностью компенсируется темпами естественного почвообразования (до 10 т/га/год [8]).

Овражная (линейная) эрозия имеет ограниченное распространение на территории юго-западной Беларуси и проявляется на наиболее возвышенных участках в пределах Высоковской равнины, Загородья и Новогрудской возвышенности. Площадь районов потенциального проявления овражной эрозии составляет 840 км².

При рассмотрении особенностей проявления линейной эрозии авторами работы [8] было показано, что определяющую роль в оврагообразовании играют антропогенные факторы, к которым относятся уничтожение естественной растительности и распашка территорий. Это дает основание считать овражно-балочные формы территории юго-западной Беларуси относительно молодыми, получившими развитие в течение агрокультурного периода.

Линейные эрозионные формы в пределах исследуемой территории представлены промоинами, оврагами и балками. В весенний период, стекая по направлению максимального уклона, вода концентрируется в потоки, которые образуют на склонах ручейковую сеть, уничтожаемую при распашке. А. И. Павловским [4] и Н. Ф. Гречаником [6] выделяется 3 типа временной ручейковой сети. Первый тип включает ручейковые формы в приводораздельной части склона с относительно ровной поверхностью и равномерным уклоном, их длина менее 100 м. Второй тип образуют на расположенной ниже части склона слившиеся ручейки 1-го типа. Длина этих врезов от 100 до 300 м. Ручейковая сеть 3-го типа приурочена к ложбинам стока и формируется в результате дальнейшего слияния линейных потоков, при этом длина отдельных промоин варьирует от 300 до 2000 м.

Промоины на изученной территории закладываются на склонах холмов, балок, речных террас, водоемов, карьеров, вдоль дорог. Длина их обычно составляет первые метры, редко превышая 10–15 м, а ширина и глубина – не более 1 м. Профиль промоин V-образный или трапециевидный. Промоины широко распространены на склонах долин рек Лесная, Припять, Ясьельда, Щара, Западный Буг, Стырь и других, а также крупных мелиоративных каналов.

При последующем развитии врезов возникают овраги с V-образными или трапециевидными поперечными профилями, продольные профили не выработаны, иногда имеют ступенчатый вид. В устьевой части образуются конусы выноса. Крутизна склонов достигает 30–65°, иногда увеличиваясь до 90°, что обусловливает протекание на них эрозионных, обвально-осыпных, оползневых процессов, оплывин. Чаще всего овражные формы распространены около деревень Костари, Ставы, Демьянчицы, Чемери 1-е, Пелище, Стрели Каменецкого района, Крупна и Шейпичи Пружанского района, а также между деревнями Углы и Долгое Ивацевичского района Брестской области. Наиболее крупные из них, расположенные в окрестностях д. Долгое Ивацевичского района и г. п. Ружаны, имеют 1–3 отвершка. При дальнейшем развитии врезов происходит затухание эрозии, склоны постепенно выполяжаются, на них появляется устойчивый растительный покров, т. е. эрозионные формы переходят в стадию балок.

С использованием картографических материалов было установлено местоположение и определены параметры (длина, глубина, ширина между бровками) 129 оврагов. По данным проведенных расчетов, средняя ширина оврагов составляет 14–15 м, средняя глубина – около 3 м, а показатели длины оврагов колеблются в основном от 200 до 600 м (в отдельных случаях – до 1300 м). Объем отложений, перемещенных в результате овражной эрозии, составляет около 1,25 млн м³.

Эрозионно-аккумулятивные процессы в долинах рек являются наиболее активными проявлениями экзогенного лито- и морфогенеза, изменяющими облик земной поверхности территории юго-

западной Беларуси. В настоящее время в регионе сформирована достаточно густая сеть долин, общая протяженность которых превышает 1800 км, а густота речной сети составляет 0,15 км/км².

Линия главного водораздела пересекает изучаемую территорию с севера на юг, что обусловило разделение речного стока между Балтийским и Черным морями. Крупнейшими реками являются Ясельда, Западный Буг, Мухавец, Бобрик, Припять.

О масштабах производимой реками геологической работы можно судить по параметрам образованных долин, мощности накопленного в течение голоцена аллювия и особенностях протекания русловых процессов. Суммарный объем эродированного постоянными водотоками материала за этот период составляет 15,4 млрд м³, а общий объем накопленных аллювиальных отложений равен 10,8 млрд м³.

В пределах исследуемого района долина р. Припяти имеет протяженность 97 км, ширина ее изменяется от 2–4 до 8–19 км, мощность аллювия достигает 10–16 м. Общий объем эродированного материала оценивается в 6,3 млрд м³, а объем накопленного аллювия – в 4,9 млрд м³. Среди русловых процессов преобладают свободное меандрирование и пойменная многорукавность. Вогнутые берега излучин размываются со скоростью 2–5 м/год, на некоторых участках – до 5–10 м/год [10].

Долина р. Западный Буг имеет ширину 3–4 км, протяженность 169 км, мощность аллювия 8–19 м. Полный объем выработанной долины – 4 млрд м³, из которых в настоящее время 3 млрд м³ заполнено аллювием. Русловые процессы представлены свободным и ограниченным меандрированием.

Река Ясельда имеет долину шириной от 2–4 до 6–8 км и длиной 196 км, выполняют ее аллювиальные отложения мощностью до 11–16 м. Общий объем вреза около 2,6 млрд м³, из которых 1,4 млрд м³ занято аллювием. Верховья р. Ясельды спрямлены, в среднем и нижнем течении развиваются свободное меандрирование и пойменная многорукавность.

Остальные реки региона имеют меньшие параметры долин, суммарный объем эродированного материала 2,5 млрд м³, объем аллювиальных накоплений 1,5 млрд м³. Русла большинства рек в настоящее время канализированы, на естественных участках развиваются свободное и ограниченное меандрирование, пойменная многорукавность.

По данным работы [11], ежегодный вынос взвешенного материала реками юго-западной Беларуси оценивается в 60 кг/га/год. Эта величина дает возможность рассчитать темп природной денудации земной поверхности региона. Согласно проведенным подсчетам, ежегодно земная поверхность территории юго-западной Беларуси понижается на 0,003 мм/год, что значительно меньше установленного А. В. Матвеевым с соавторами [2] показателя природной денудации рельефа Беларуси в целом (0,03 мм/год). Это, вероятно, объясняется более выровненным характером территории западной части Белорусского Полесья.

Важную роль в динамике земной поверхности играют техногенно обусловленные эрозионно-аккумулятивные процессы в зонах влияния водохранилищ и прудов. Начиная с 1950 г., на территории юго-западной Беларуси сооружено 44 водохранилища и более 340 прудов различного целевого назначения. Образованы водохранилища трех типов: русловые, озерные и наливные. Наибольшее количество этих водоемов (30) относится к наливному типу. Крупнейшими из них являются Краснослободское, Селец, Береза-1, Погост, Локтыши. В настоящее время общая площадь всех водохранилищ и прудов около 156 км².

Эволюция водохранилищ происходит стадийно, что было показано в работах В. М. Широкова с соавторами [12, 13]. Этими исследователями установлены три основные стадии формирования береговой линии: становления, стабилизации и отмирания. Следует отметить, что в юго-западной Беларуси существуют водохранилища с укрепленными берегами (Велута, Погост, Краснослободское), на которых процессы переработки берегов практически не наблюдаются.

Первая стадия развития берегов водохранилищ длится 10–15 лет, на прудах – 3–4 года [6]. В течение этого этапа интенсивно проявляется абразия, сопровождающаяся интенсификацией гравитационных процессов (обвалов, осипей), закладываются и развиваются береговые отмели. Абразионное воздействие на склоны имеет наибольшую выраженность в приплотинной, наиболее глубоко-водной и широкой части водоемов. Особенности абразионной переработки зависят от формы береговой линии: при изрезанных берегах наблюдается интенсивный локальный размыг надводной части склонов, а на относительно прямолинейных берегах абразия протекает равномерно по всей протяженности береговой линии. Продукты разрушения поступают в глубоководную часть водоема, где формируются вторичные грунтовые комплексы и аккумулятивные формы рельефа.

Согласно работе [2], для наливных водоемов с контурными дамбами переработка берегов проявляется на 70 % от их протяженности. По оценкам В. М. Широкова [14], ежегодное отступление бровки берега, сложенного легкоразмываемыми породами, в первые годы эксплуатации водоема составляет 1,0–1,2 м. Высота берегов, испытавших воздействие абразии, колеблется от 0,6 до 4,5 м [6].

На незакрепленных растительностью склонах отмечаются проявления плоскостной и линейной эрозии, дефляции. Кроме этого в зимний период в береговой зоне наблюдается ледовая эрозия, которая развивается в процессе надвигания льда, происходит перемещение вмерзшего грунтового материала, а также формируются вдольбереговые валы (высотой 0,5–0,7 м и длиной до 50 м и более) и отмели по ходу движения льдин [2, 15]. На локальных участках проявляется термоэроздия.

На стадии стабилизации завершается выработка равновесного профиля берегов водоема, происходит интенсивное осадконакопление в ложе и его заиление, развиваются вдольбереговые потоки наносов. На мелководьях появляются устойчивые комплексы высшей водной растительности. Стадия стабилизации берегов и отмелей может прерываться кратковременными фазами активизации формирования отмелей с переработкой берегов в результате повышения водности при интенсивном выпадении атмосферных осадков, снеготаянии. Так, по данным В. Е. Левкевича [15], в результате поднятия уровня воды в Краснослободском водохранилище выше проектных отметок наблюдалось разрушение берегового склона более чем на 3,5 м в течение одного сезона, а протяженность участка переработки составила 450 м.

На завершающей стадии происходит полная стабилизация берегов, затухают склоновые процессы. Активно протекают заболачивание прибрежной зоны, заиление глубоководной части водоема, зарастание берегов и прибрежных отмелей.

Карст. На территории юго-западной Беларуси карстующимися являются трещиноватые мергельно-меловые породы верхнего мела, перекрытые чехлом нерастворимых водопроницаемых палеоген-неогеновых и четвертичных образований. С карбонатными толщами связаны трещинно-пластовые и карстово-пластовые скопления подземных вод. Мощность покрова палеоген-неогеновых и четвертичных отложений на территории региона уменьшается с севера на юг от 80–120 м до 40 м и менее. Согласно выводам Р. В. Красненкова [16], покрытый тип карста может развиваться под толщиной нерастворимых пород мощностью 40–50 м. Таким образом, наличие трещиноватых легкоразмыываемых карбонатных пород в относительной близости к земной поверхности создает благоприятные условия для проявления карстовых процессов на территории исследуемого региона.

Условия залегания карстующихся пород обусловили возникновение открытых карстовых форм рельефа, которые представлены крупными котловинами, в настоящее время занятymi озерами, глубины их достигают 20–30 м и более. О. Ф. Якушко и Л. Б. Науменко [17] установили карстовое происхождение озер Белое, Черное, Луковское, Соминское, Селяховское, Вульковское и некоторых других водоемов. Также этими исследователями было показано, что расположение карстовых форм на территории юго-западной Беларуси в определенной степени контролируется разломами, например, местоположение Меднянских озер (оз. Меднянское, Рогознянское, Страдечское, Тайное) соответствует линии простирания Домачевского разлома. Размещение и некоторых других достоверно установленных карстовых проявлений свидетельствует о связи с разломной тектоникой. Это объясняется тем, что к дизъюнктивным зонам в толще отложений верхнего мела приурочена повышенная трещиноватость пород, приводящая к активизации процессов растворения и выноса частиц.

На исследуемой территории широко распространены погребенные карстовые формы. Многими скважинами в кровле мергельно-меловых пород были вскрыты углубления, заполненные глинами, бурым углем, кварцевыми песками и др. В работе [18] указывается, что подобные карстовые формы распространены практически по всей поверхности верхнемеловых пород.

Данных по проявлению суффозионных процессов в западной части Белорусского Полесья недостаточно. Это связано с тем, что на исследуемой территории отсутствуют большие массивы подверженных суффозии грунтов (пылеватых, лёссовидных и пылевато-глинистых). Вместе с тем следует отметить, что некоторые авторы (О. Ф. Якушко, Н. Ф. Гречаник) все-таки утверждают о возможном влиянии на формирование просадок и западин, распространенных на крайнем юге Брестского Полесья, процессов суффозии.

Некоторыми исследователями указывается на тесную связь суффозионных и карстовых процессов. Так, В. П. Хоменко [19] отводит доминирующую роль в пространственном распространении суффозии регионально-геологическим факторам, к которым может быть отнесено наличие в геологическом разрезе перекрытых песками карстующихся пород. Образование карстовых полостей сопровождается не только растворением и выносом продуктов разрушения карбонатных пород, а также при наличии циркулирующих подземных вод в их толще – механическим разрушением субстрата и выносом продуктов размыва водным потоком (суффозией). Однако, по нашему мнению, в условиях юго-западной Беларуси развитие карстовых процессов как одного из факторов активизации суффозии может проявляться только на глубине и не имеет выражения в современном рельефе.

Отдельно следует отметить развитие суффозионных процессов в районах активного техногенного воздействия. Так, согласно Е. Ю. Трацевской [20], суффозионные провалы могут происходить на урбанизированных территориях. Причиной этого являются потери воды из водонесущих конструкций

и коммуникаций, а также аварийные прорывы, которые приводят к размыву и выносу дисперсных грунтов. Активизация супфозии иногда отмечается также в районах, подверженных подтоплению.

В процессе проведения полевых исследований нами в пределах мелиоративной системы «Ореховская» (Кобринский район) было отмечено образование в трещиноватых техногенных грунтах супфозионного провала глубиной 0,63 м, шириной 1,3 м и длиной 1,5 м. Образованная воронка имеет глубину 2–3 м.

Определенное влияние на экзодинамику земной поверхности территории юго-западной Беларуси оказывают подтопления и затопления. Основным условием развития этих процессов является превышение питания подземных вод над их разгрузкой, на что значительное воздействие оказывают гидрогеологические, гидрологические и климатические условия, состав отложений, слагающих земную поверхность. На освоенных человеком территориях процесс подтопления развивается также под влиянием техногенных аварий.

Наибольшую опасность процесс подтопления представляет для городских территорий. В процессе строительства зданий и сооружений изменяются естественный рельеф и гидографическая сеть, ухудшается дренированность территории, происходит экранирование земной поверхности зданиями, искусственными (асфальт, бетон и т. д.) покрытиями. Это приводит к затруднению инфильтрации поверхностных вод в грунтовый водоносный горизонт, снижению испарения и развитию подтопления. В процессе эксплуатации различных сооружений важную роль в развитии подтопления играет техногенное питание грунтовых вод. Оно обеспечивается за счет утечек из стационарных водонесущих коммуникаций, фильтрационных потерь из различных водоемов, недостаточности и/или неудовлетворительной работы дождевой канализации и т. д. В результате снижается устойчивость фундаментов зданий и сооружений, ухудшаются экологические и санитарные условия, активизируются некоторые нежелательные рельефообразующие процессы (супфозия, осыпи, обвалы) [18, 20].

Затопление – это покрытие территории водой, вызванное естественными (разливы рек, обильные осадки, морские приливы и пр.) или искусственными (строительство водохранилищ, прудов и др.) причинами [18]. Наиболее характерной формой проявления этого процесса являются весенние половодья и дождевые паводки. Значительную роль в их формировании играет характер рельефа земной поверхности. Широко развитые поймы рек на территории юго-западной Беларуси при разливах затопляются в первую очередь.

Во время половодий и паводков повреждаются фундаменты и конструкции различных зданий и сооружений, активизируются процессы экзогенной морфодинамики: на локальных участках получают развитие обвально-осыпные и оползневые явления, более интенсивно проявляется линейная и плоскостная эрозия, происходит разрушение берегов рек, накопление наносов в поймах, формирование прирусловых валов. Подобные разливы наиболее характерны для рек бассейна р. Припяти, в меньшей степени – для рек бассейна Западного Буга. Половодье длится 60–80 сут, превышение уровней вод над меженным достигает 1,5–3,0 м, однако в особенно многоводные годы уровень воды может подниматься значительно выше. Глубина вод в половодье на поймах обычно не превышает 0,3–1,0 м, преобладающая ширина разливов 0,5–2,0 км (до 30 км на р. Припять). Дождевые паводки могут наблюдаться от 1–2 до 3–4 раз в году [21].

Гравитационные процессы на территории юго-западной Беларуси имеют ограниченное распространение и приурочены в основном к наиболее возвышенным участкам. Смещение отложений вниз по склоновым поверхностям под действием силы тяжести происходит различными способами. В зависимости от скорости перемещения материала различают крип (медленное оползание грунтов) и процессы, идущие с высокой скоростью (осыпи, обвалы, оплывины, оползни). Для протекания гравитационных процессов необходимо наличие нескольких условий: крип развивается в результате колебаний влажности и температуры верхних горизонтов покровных отложений на склонах крутизной 3°–5° и более, для осипей, обвалов и оползней крутизна склонов должна составлять более 15°–20° [1].

Осыпи, обвалы, оплывины и оползни чаще всего наблюдаются на склонах долин крупных рек региона (Припяти, Западного Буга, Ясельды и др.), а также в береговой зоне водохранилищ, на территориях развития овражно-балочных систем (Высоковской равнины и южной части Новогрудской возвышенности), практически во всех карьерных выработках, на некоторых участках дорожных насыпей и выемок. В результате проявления этих процессов в прибрежных частях карьеров и в прибрежной зоне формируются конусы выноса разрушенного материала. Объем перемещаемых пород колеблется от нескольких десятков до 0,8 тыс. м³ [6]. Активизация обвально-осыпных процессов в карьерах происходит в результате их углубления, подрезки склонов, пригрузки присклоновых участков отвалами, а также при переувлажнении массивов грунтов в период снеготаяния и сильных дождей.

Наибольшее площадное распространение среди гравитационных процессов получил **крип**. Его проявление установлено на склоновых поверхностях Высоковской и Малоритской равнин, Загородья, южной части Новогрудской возвышенности. Н. Ф. Гречаником [6] при проведении полевых ис-

следований в пределах реперных участков Высоковской равнины было определено, что скорость медленного движения отложений вниз по склону составляет 0–55 мм/год. А. В. Матвеевым с соавторами [2] выяснено, что вовлеченный в гравитационный снос слой покровных отложений достигает мощности 0,5 м.

Биогенные процессы. Большую рельефообразующую роль играет деятельность живых организмов. Принимая участие в преобразовании горных пород, переносе и накоплении материала они активно изменяют облик земной поверхности территории юго-западной Беларуси. В результате формируются органогенные отложения в озерах и болотах, возникают зоо- и фитогенные формы рельефа. Кроме этого, жизнедеятельность живых организмов может оказывать влияние на ход других современных рельефообразующих процессов.

Наиболее типичными аренами развития биогенного морфогенеза являются болота и заболоченные земли. Так, по данным Н. Н. Бамбалова с соавторами [22], средняя заболоченность территории Брестской области достигает 21,1 %. Мощность торфа различна и колеблется от нескольких десятков сантиметров до 6–7 м; среднее значение оценивается в 1,4 м.

Развитию заболачивания на территории юго-западной Беларуси способствовал плоский и плоско-волнистый характер рельефа, что привело к возникновению больших по площади болот низинного типа. Так, крупнейшими по площади болотными массивами региона являются: Великий Лес (Кобринский и Дрогичинский районы) – 40,1 тыс. га; Выгонощанское (Ляховичский, Ивацевичский и Ганцевичский районы) – 34,9 тыс.; Хольча (Лунинецкий, Пинский и Столинский районы) – 25,6 тыс.; Дикое (Пружанский и Свислочский районы) – 21,7 тыс. га [3]. Поверхность низинных болот чаще всего плоская либо слабовогнутая. На болотах формируется своеобразный фитогенный рельеф, который представлен кочками высотой 0,3–0,7 м, обводненными западинами и котловинами.

Крупные массивы верховых болот встречаются в Столинском районе и севернее оз. Выгонощанское. Небольшие верховые болота расположены в Березовском, Каменецком, Малоритском, Пружанском районах. Поверхность их выпуклая, формы мезо- и микрорельефа сходны с рельефом низинных болот. Переходные болота также получили ограниченное распространение в центральной и северо-восточной частях исследуемого региона.

Для установления особенностей развития болотообразования в голоцене на территории юго-западной Беларуси были проанализированы результаты исследований стратиграфии и возраста торфяных залежей, расположенных в различных частях региона. Выяснено, что большинство болот возникло в атлантический и суб boreальный периоды. Средняя скорость торфонакопления составляет 0,27 мм/год, а диапазон колебаний значений находится в пределах 0,14–0,38 мм/год. Эти выводы согласуются со взглядами на развитие болотообразовательных процессов в умеренном поясе Северного полушария как белорусских [1, 22], так и зарубежных [23] ученых.

Кроме торфообразования на болотных массивах, накопление органических осадков происходит в больших по площади, но неглубоких водоемах (озера Выгонощанское, Бобровичское, Споровское и др.). Аккумулируются сапропель, ил, торф и др. Мощность этих отложений (в основном сапропеля) по данным бурения колеблется от 3,5–4,0 м (оз. Выгонощанское) до 15 м и более (оз. Бобровичское), в среднем составляет 4,0–6,0 м. В незначительных по площади, но глубоких озерах мощность лимнических накоплений достигает 3,5–4,5 м (озера Селяховское, Песчаное).

На территории юго-западной Беларуси из проявлений биогенного рельефообразования следует также отметить зоогенные формы, представленные бобровыми плотинами и хатками, муравейниками, кротовинами, гнездовыми ямами, норами и т. д. [6].

Помимо этого, к подгруппе биогенных процессов можно отнести *сработку торфа*. Этот процесс является негативным последствием проведения осушительных мелиораций на территории юго-западной Беларуси.

Основными причинами сработки торфа является переосушение верхних горизонтов органогенных отложений и неправильная обработка земной поверхности при сельскохозяйственном освоении. Этот процесс на участках с мелкозалежными торфяно-болотными образованиями наиболее интенсивно протекает в первые годы после проведения мелиоративных мероприятий. По данным работы [24], средний темп уменьшения мощности торфа в Беларуси составляет 2,0–3,0 см/год, из которых на минерализацию органического вещества приходится 0,3–0,5 см/год, остальная часть торфа теряется при его уплотнении и распашке. При этом минимальные потери органического вещества наблюдаются под многолетними травами (3,6 т/га/год), максимальные – при пропашном возделывании площадей (9,8 т/га/год), а при экстремальном возделывании осущенных торфяно-болотных массивов потери могут достигать 16,0–20,0 т/га/год.

С. Г. Скоропановым с соавторами [25] проведено экспериментальное исследование скорости сработки торфа на базе Полесской опытной мелиоративной станции. Участок стационарных наблюдений площадью 16 га располагался на территории мелкозалежного торфяного массива «Хольча».

Так, за период 25-летних наблюдений земная поверхность ключевого участка претерпела значительные изменения. Запасы органического вещества сократились за первые 10 лет на 73 т/га, за второе десятилетие – на 62 т/га, а за последние 5 лет – на 27 т/га. Произошло понижение отметок дневной поверхности более чем на 30 см. В. Н. Карнауховым [26] было определено, что понижение земной поверхности к 35-му году наблюдений на исследуемом участке приблизилось к 1 м. В результате сработки торфа на осушенных землях образуются деструктивные формы рельефа – западины, котловины уплотнения и оседания.

Деградация природных комплексов, изменение рельефа земной поверхности и ухудшение геоэкологической обстановки могут наблюдаться при распространении лесных и болотных пожаров. Вопросы *пирогенной трансформации* торфяников и мелиорированных территорий Полесья подробно рассмотрены в работах Ф. Р. Зайдельмана [27] и Н. Ф. Гречаника [6]. В случае поверхностного пожара огнем становятся охвачены растительный покров и верхние слои покровных отложений. При глубинных пожарах горение происходит в толще органогенных образований. Пирогенный процесс может протекать стремительно и приводить к полному уничтожению торфяной залежи за короткий период, который может исчисляться сутками. В результате на земной поверхности образуются аккумулятивные и деструктивные образования в виде зольных покровов, холмов и бугров, скоплений некромассы, котловин выгорания, воронок. На пирогенно измененных участках активизируется дефляция.

Территория юго-западной Беларуси является ареной активного развития *эоловых процессов*. К ним относятся ветровая эрозия (дефляция), перенос частиц минеральных или органогенных грунтов и их аккумуляция.

Возникновению дефляции благоприятствуют интенсивная хозяйственная деятельность, климатические условия (в особенности режим ветра и увлажненности), морфология земной поверхности и состав слагающих ее отложений, характер растительного покрова. Для территории Брестской области, по данным работы [28], наиболее характерными являются слабые ветры (2–5 м/с). Доля умеренных ветров со скоростью 6–9 м/с незначительна и составляет 4–5 %, а вероятность сильных ветров со скоростью 10 м/с и более оценивается долями процента. Среднегодовое количество атмосферных осадков достигает 600–650 мм/год, интервал колебаний находится в пределах 300–1000 мм/год. Учитывая охарактеризованные климатические особенности, низменный и выпуклый характер рельефа исследуемого региона, вероятность проявления дефляции оценивается как высокая и очень высокая, причем наибольшая повторяемость этого процесса наблюдается в апреле–июне, когда проективная защита земной поверхности растительностью недостаточна.

Различают повседневную (местную) ветровую эрозию и пыльные бури. Главной движущей силой повседневной дефляции выступают локальные завихрения воздуха и порывы ветра. В. В. Жилко и Л. М. Ярошевичем [29] установлено, что для территории Белорусского Полесья эрозионно-опасными являются ветры со скоростью 6,5 м/с для минеральных почв легкого гранулометрического состава и 8–9 м/с – для органогенных почв мелиорированных торфяных массивов. В настоящее время экстремальные проявления дефляции отмечаются на участках осушенных торфяников, используемых в сельском хозяйстве. Это связано с понижением уровня грунтовых вод, которое сопровождается исщущением покровных отложений, уничтожением естественного растительного покрова и с обработкой земной поверхности сельскохозяйственными машинами. В результате нарушается залегание грунтов и снижается их ветроустойчивость.

Проявления ветровой эрозии на участках с минеральными и органогенными грунтами имеют некоторые различия. На территориях осушенных мелкозалежных торфяников иногда сохраняются песчаные острова, которые возвышаются над окружающей земной поверхностью. Выдуваемый с их поверхности песчаный материал разрушает твердую корку, образующуюся на поверхности торфа, вовлекает органогенные отложения в перенос. Согласно работе [30], во время пыльной бури, которая наблюдалась в Белорусском Полесье 27 апреля 1981 г., с ключевого участка было вынесено 20 т/га грунтов, на некоторых объектах – до 50–100 т/га, при этом объем перемещенных мелких минеральных частиц превысил это значение в 2–3 раза.

Дефляция наносит серьезный урон сельскому хозяйству. Важными статьями ущерба являются выдувание ветром семян, засекание озимых всходов перемещаемыми частицами грунта, вынос большого объема элементов питания, что создает необходимость повторного сева сельскохозяйственных культур, дополнительного привноса минеральных удобрений. При интенсивной дефляции ухудшаются геоэкологические условия в результате присутствия в атмосферном воздухе большого количества пыли, снижения видимости, заилиения мелиоративных каналов, естественных и искусственных водоемов, кратковременного ухудшения здоровья населения.

Эоловая аккумуляция формирует различные формы рельефа, широко распространенные на юго-западе Беларуси, где они занимают около 2 % территории. Чаще всего эти формы представлены небольшими песчаными холмами, дюнами и грядами высотой 5–10 м разной ориентировки [2, 31].

Об особенностях строения и морфологии эоловых аккумулятивных образований можно судить по материалам проведенных полевых исследований. Так, типичными эоловыми формами можно считать дюны, расположенные юго-восточнее д. Лемешевичи Пинского района и южнее д. Хотислав Малоритского района. Дюна в окрестностях д. Лемешевичи Пинского района четко выделяется в рельефе на фоне окружающих выровненных мелиорированных пространств, ориентирована субширотно и имеет характерную подковообразную форму. Длина ее достигает 2 км, ширина колеблется от 40 м в осевой до 160 м в центральной части, а высота по гребню увеличивается от периферии к центру с 2–4 м до 15 м. Хотиславская дюна имеет длину около 6 км, ширина колеблется в среднем от 50 до 150 м, а высота в центральной части превышает 15 м. Крупные песчаные холмы высотой до 20 м были встречены в окрестностях деревень Повитье и Дивин Кобринского района, восточнее д. Бобрик Пинского района, южнее д. Колодное Столинского района. Другие многочисленные хорошо выраженные формы эолового рельефа расположены в южной части Брестского, Малоритского, Дрогичинского, Ивановского и Пинского районов, в долинах рек Припяти, Ясельды, Стыри, Рыты. Чаще всего их поверхность задернована, покрыта травяной и/или кустарниково-лесной растительностью, однако на незакрепленных участках продолжается ветровая переработка отложений.

Выводы

1. На территории юго-западной Беларуси проявляются разнообразные современные экзогенные морфодинамические процессы, обусловленные деятельностью поверхностных и подземных вод, силы тяжести, ветра, живых организмов. Под их влиянием происходит изменение земной поверхности региона, возникают своеобразные формы рельефа.

2. На основании обобщения данных полевых исследований и опубликованных материалов выполнена классификация экзогенных рельефообразующих процессов и форм рельефа, которая включает 8 подгрупп и 12 типов, объединяющих образования аккумулятивного и деструктивного генезиса. Для охарактеризованных типов процессов показаны виды воздействия на земную поверхность. Составлена схема современной экзогенной геодинамики территории юго-западной Беларуси.

3. Экстремальные формы проявления некоторых процессов (дефляции, подтопления и др.) современного экзогенного морфогенеза могут оказывать влияние на геэкологическую обстановку в регионе, ухудшать условия жизнедеятельности населения, наносить ущерб объектам народного хозяйства.

Список использованных источников

1. Рельеф Белорусского Полесья / А. В. Матвеев [и др.] ; под ред. Б. Н. Гурского. – Минск : Наука и техника, 1982. – 129 с.
2. Современная динамика рельефа Белоруссии / А. В. Матвеев [и др.] ; под ред. Б. Н. Гурского, А. В. Матвеева. – Минск : Навука і тэхніка, 1991. – 102 с.
3. Матвеев, А. В. История формирования рельефа Белоруссии / А. В. Матвеев. – Минск : Навука і тэхніка, 1990. – 143 с.
4. Павловский, А. И. Закономерности проявления эрозионных процессов на территории Белоруссии / А. И. Павловский ; под ред. А. В. Матвеева. – Минск : Навука і тэхніка, 1994. – 104 с.
5. Махнach, Н. А. Деплювиальные и солифлюкционные отложения Беларуси / Н. А. Махнach ; под ред. А. В. Матвеева. – Минск : Навука і тэхніка, 1994. – 150 с.
6. Гречаник, Н. Ф. Рельеф территории Подлясско-Брестской впадины / Н. Ф. Гречаник, А. В. Матвеев, М. А. Богдасаров. – Брест : БрГУ, 2013. – 154 с.
7. Богдасаров, М. А. Геология и минерагения четвертичных отложений территории Подлясско-Брестской впадины / М. А. Богдасаров. – Брест : БрГУ, 2011. – 167 с.
8. Эрозионные процессы (географическая наука практике) / М. Ю. Белоцерковский [и др.] ; под ред. Н. И. Маккавеева, Р. С. Чалова. – М. : Мысль, 1984. – 256 с.
9. Зорина, Е. Ф. Эрозия и аккумуляция / Е. Ф. Зорина, Л. Ф. Литвин, Р. С. Чалов // Природные опасности России : в 6 т. / под общ. ред. В. И. Осипова, С. К. Шойгу. – М. : Изд. фирма «КРУК», 2002–2003. – Т. 3 : Экзогенные геологические опасности / под ред. В. М. Кутепова, А. И. Шеко. – М., 2002. – С. 32–65.
10. Русловой режим рек Северной Евразии (в пределах бывшего СССР) / Р. С. Чалов [и др.] ; под ред. Р. С. Чалова. – М. : МГУ, 1994. – 336 с.
11. Лукашев, В. К. Литогеохимические фации кайнозоя запада Русской платформы / В. К. Лукашев. В. А. Кузнецов, Л. И. Матрунчик. – Минск : Наука и техника, 1974. – 264 с.
12. Водохранилища Белоруссии: природные особенности и взаимодействие с окружающей средой / В. М. Широков [и др.] ; под ред. В. М. Широкова. – Минск : Университетское, 1991. – 207 с.
13. Широков, В. М. Формирование берегов малых водохранилищ лесной зоны / В. М. Широков, П. С. Лопух, В. Е. Левкевич. – СПб. : Гидрометеоиздат, 1992. – 161 с.
14. Широков, В. М. Конструктивная география рек: основы преобразования природопользования / В. М. Широков. – Минск : Университетское, 1984. – 205 с.
15. Левкевич, В. Е. Динамика береговых процессов русловых, напливных и озерных водохранилищ Беларуси / В. Е. Левкевич. – Минск : Право и экономика, 2015. – 202 с.

16. Красненков, Р. В. Погребенный меловой карст юго-восточной части Среднерусской возвышенности : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / Р. В. Красненков. – Воронеж, 1970. – 20 с.
17. Якушка, В. П. Праяўленне карставых працэсаў і их палеагеаграфічна абумоўленнасць у Беларускім Палессі / В. П. Якушка, Л. Б. Навуменка // Новае ў геалогіі антрапагену Беларусі : зб. арт. / под ред. Э. А. Ляўкова, Т. В. Якубоўскай. – Мінск : Навука і тэхніка, 1979. – С. 125–130.
18. Инженерная геология Беларуси : в 3 ч. / А. Н. Галкин [и др.] ; под ред. В. А. Королева. – Витебск : ВГУ им. М. П. Машерова, 2016–2018. – Ч. 3.
19. Хоменко, В. П. Закономерности и прогноз суффозионных процессов : автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / В. П. Хоменко. – М., 2004. – 38 с.
20. Трацевская, Е. Ю. Региональная инженерная геология Беларуси и зарубежных стран : тексты лекций / Е. Ю. Трацевская. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2011. – 136 с.
21. Ресурсы поверхностных вод СССР : в 20 т. / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. – Л. : Гидрометеоиздат, 1970–1973. – Т. 5 : Белоруссия и Верхнее Поднепровье / Бел. терри-тор. гидрометеорол. центр, Гос. гидрол. ин-т ; под ред. К. А. Клюевской. – Л., 1971. – 1108 с.
22. Бамбалов, Н. Н. Болотообразовательные процессы на территории Белоруссии / Н. Н. Бамбалов, А. Г. Дубовец, С. Г. Белен'кий // Проблемы Полесья. – 1990. – Вып. 13. – С. 75–90.
23. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / О. Л. Лисс [и др.] ; под ред. В. Б. Ку-ваева. – Тула : Гриф и К°, 2001. – 584 с.
24. Лиштван, И. И. Научно-техническое решение проблем освоения Полесской низменности / И. И. Лиштван, А. Н. Бамбалов, Л. М. Ярошевич // Проблемы Полесья. – 1991. – Вып. 14. – С. 3–25.
25. Скоропанов, С. Г. Результаты многолетних исследований эволюции торфяных почв Припятского Полесья / С. Г. Скоропанов, А. И. Барсуков, Н. В. Кушнир // Проблемы Полесья. – 1989. – Вып. 12. – С. 17–24.
26. Карнаухов, В. Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы на открытой сети мелиоративных систем / В. Н. Карнаухов ; под ред. А. П. Лихачевича. – Минск : Беларуская навука, 2013. – 346 с.
27. Зайдельман, Ф. Р. Минеральные и торфяные почвы полесских ландшафтов: генезис, гидрология, мелиорация, защита от пожаров торфянников и лесов, рекультивация / Ф. Р. Зайдельман. – М. : КРАСАНД, 2013. – 440 с.
28. Волчек, А. А. Ветровой режим Брестской области / А. А. Волчек, А. В. Гречаник // Актуальные проблемы наук о Земле: использование природных ресурсов и сохранение окружающей среды : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году науки в Респ. Беларусь, Брест, 25–27 сент. 2017 г. : в 2 ч. / Ин-т природо-пользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т ; редкол.: А. К. Карабанов [и др.] ; науч. ред. А. К. Карабанов, М. А. Богданасаров. – Брест : БрГУ, 2017. – Ч. 1. – С. 241–245.
29. Жилко, В. В. Ветровая эрозия почв и борьба с ней / В. В. Жилко, Л. М. Ярошевич // Проблемы Полесья. – 1974. – Вып. 3. – С. 94–110.
30. Ярошевич, Л. М. Экологические проблемы эрозии почв в Полесье / Л. М. Ярошевич, Ю. И. Кришталь // Проблемы Полесья. – 1991. – Вып. 14. – С. 153–170.
31. Грибко, А. В. Особенности морфологии и закономерности географического распространения эоловых форм рельефа Брестского и Волынского Полесья / А. В. Грибко // Наук. віснік Волінськ. націон. ун-ту ім. Лесі Українки. – 2009. – № 4. – С. 252–259.

References

1. Matveev A. V., e.a. *Rel'ef Belorusskogo Poles'ya* [Relief of Belarusian Polesie]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982, 129 p. (in Russian)
2. Matveev A. V., e.a. *Sovremennaya dinamika rel'efa Belorussii* [The modern dynamics of the relief of Belarus]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1991, 102 p. (in Russian)
3. Matveev A. V. *Istoriya formirovaniya rel'efa Belorussii* [The history of the formation of the relief of Belarus]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1990, 143 p. (in Russian)
4. Pavlovskii A. I. *Zakonomernosti proyavleniya erozionnykh protsessov na territorii Belorussii* [Patterns of erosion processes in Belarus]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1994, 104 p. (in Russian)
5. Makhnach N. A. *Delyuvial'nye i soliflyuktsionnye otlozheniya Belarusi* [Deluvial and solifluction deposits of Belarus]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1994, 150 p. (in Russian)
6. Grechanik N. F., Matveev A. V., Bogdasarov M. A. *Rel'ef territorii Podlyassko-Brestskoi vpadiny* [Relief of the territory of the Podlasie-Brest Depression]. Brest, BrGU Publ., 2013, 154 p. (in Russian)
7. Bogdasarov M. A. *Geologiya i mineralogeniya chetvertichnykh otlozhenii territorii Podlyassko-Brestskoi vpadiny* [Geology and mineralogy of the Quaternary sediments of the territory of the Podlasie-Brest Depression]. Brest, BrGU Publ., 2011, 167 p. (in Russian)
8. Belotserkovskii M. Yu., e.a. *Erozionnye protsessy (geograficheskaya nauka praktike)* [Erosion processes (geo-graphical science practice)]. Moscow, Mysl' Publ., 1984, 256 p. (in Russian)
9. Zorina E. F., Litvin L. F., Chalov R. S. *Eroziya i akkumulyatsiya* [Erosion and accumulation]. *Prirodnye opasnosti Rossii: v 6 t. T. 3: Ekzogennye geologicheskie opasnosti* [Natural hazards of Russia: in 6 volumes. Vol. 3: Exogenous geological hazards]. Moscow, KRUK Publ., 2002, pp. 32–65 (in Russian)
10. Chalov R. S., e.a. *Ruslovoi rezhim rek Severnoi Evrazii (v predelakh byvshego SSSR)* [The riverbed regime of the rivers of Northern Eurasia (within the former USSR)]. Moscow, MGU Publ., 1994, 336 p. (in Russian)
11. Lukashev V. K., Kuznetsov V. A., Matrunchik L. I. *Litogeokhimicheskie faktsii kainozoya zapada Russkoi platformy* [Lithogeochemical facies of the Cenozoic west of the Russian platform]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1974, 264 p. (in Russian)
12. Shirokov V. M., e.a. *Vodokhranilishcha Belorussii: prirodnye osobennosti i vzaimodeistvie s okruzhayushchimi sredoi* [Reservoirs of Belarus: natural features and interaction with the environment]. Minsk, Universitetetskoe Publ., 1991, 207 p. (in Russian)

13. Shirokov V. M., Lopukh P. S., Levkevich V. E. *Formirovanie beregov malykh vodokhranilishch lesnoi zony* [Formation of the shores of small reservoirs in the forest zone]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1992, 161 p. (in Russian)
14. Shirokov V. M. *Konstruktivnaya geografiya rek: osnovy preobrazovaniya prirodopol'zovaniya* [Constructive geography of rivers: the basics of transforming nature management]. Minsk, Universitetskoe Publ., 1984, 205 p. (in Russian)
15. Levkevich V. E. *Dinamika beregovykh protsessov ruslovykh, nalinnykh i ozernykh vodokhranilishch Belarusi* [Dynamics of coastal processes of channel, bulk and lake reservoirs of Belarus]. Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2015, 202 p. (in Russian)
16. Krasnenkov R. V. *Pogrebennyi melovoi karst yugo-vostochnoi chasti Srednerusskoi vozvyshennosti. Avtoref. diss. kand. geol.-mineral. nauk* [Buried Cretaceous karst of the southeastern part of the Central Russian Upland. Abstract of the diss. of the cand. of geol.-mineral. sci.]. Voronezh, 1970, 20 p. (in Russian)
17. Yakushka V. P., Navumenko L. B. *Prayaulenne karstavykh protsesau i ikh paleogeograficheskaya abumouleannasts' u Belaruskim Palessi* [Manifestation of karst processes and their paleogeographic conditioning in Belarusian Polesie]. *Novaes u gealogii antrapagenu Belarusi* [New in the geology of the anthropogen of Belarus]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1979, pp. 125–130. (in Belarusian)
18. Galkin A. N., e.a. *Inzhenernaya geologiya Belarusi: v 3 ch.* [Engineering geology of Belarus: in 3 parts]. Vitebsk, VGU Publ., 2016–2018, ch. 3 (in Russian)
19. Khomenko V. P. *Zakonomernosti i prognoz suffozionnykh protsessov. Avtoref. diss. d-ra geol.-mineral. nauk* [Patterns and prediction of suffusion processes. Abstract of the diss. dr. geol.-mineral. sci.]. Moscow, 2004. 38 p. (in Russian)
20. Tratsevskaya E. Yu. *Regional'naya inzhenernaya geologiya Belarusi i zarubezhnykh stran: teksty lektsii* [Regional engineering geology of Belarus and foreign countries: lecture texts]. Gomel', GGU Publ., 2011, 136 p. (in Russian).
21. *Resursy povervhnostnykh vod SSSR: v 20 t. T. 5: Belorussiya i Verkhnee Podneprov'e* [Resources of surface waters of the USSR: in 20 volumes. Vol. 5: Belarus and the Upper Dnieper]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1971, 1108 p. (in Russian)
22. Bambalov N. N., Dubovets A. G., Belen'kii S. G. *Bolotoobrazovatel'nye protsessy na territorii Belorussii* [Swamp-forming processes in the territory of Belarus]. *Problemy Poles'ya = Problems of Polesie*, 1990, no. 13, pp. 75–90 (in Russian)
23. Liss O. L., e.a. *Bolotnye sistemy Zapadnoi Sibiri i ikh prirodoobhrannoe znachenie* [Wetland systems of Western Siberia and their conservation value]. Tula, Grif i K° Publ., 2001, 584 p. (in Russian)
24. Lishtvan I. I., Bambalov N. N., Yaroschevich L. M. *Nauchno-tehnicheskoe reshenie problem osvoeniya Polesskoi nizmennosti* [Scientific and technical solution to the problems of developing the Polesie lowland]. *Problemy Poles'ya = Problems of Polesie*, 1991, no. 14, pp. 3–25. (in Russian)
25. Skoropanov S. G., Barsukov A. I., Kushnir N. V. *Rezul'taty mnogoletnikh issledovanii evolyutsii torfyanykh pochv Pripyatskogo Poles'ya* [The results of many years of research on the evolution of peat soils of Pripyat Polesie]. *Problemy Poles'ya = Problems of Polesie*, 1989, no. 12, pp. 17–24. (in Russian)
26. Karnaukhov V. N. *Erozionno-akkumulyativnye protsessy na otkrytoi seti meliorativnykh sistem* [Erosion-accumulative processes on an open network of reclamation systems]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2013, 346 p. (in Russian)
27. Zaidel'man F. R. *Mineral'nye i torfyanye pochvy polesskikh landshaftov: genezis, hidrologiya, melioratsiya, zashchita ot pozharov torfyanykh i lesov, rekul'tivatsiya* [Mineral and peat soils of Polesie landscapes: genesis, hydrology, land reclamation, protection against peat and forest fires, reclamation]. Moscow, KRASAND Publ., 2013, 440 p. (in Russian)
28. Volchek A. A., Grechanik A. V. *Vetrovoi rezhim Brestskoi oblasti* [Wind regime of the Brest region]. *Aktual'nye problemy nauk o Zemle: ispol'zovanie prirodnnykh resursov i sokhranenie okruzhayushchey sredy: sb. mat-ov Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. Godu nauki v Resp. Belarus'*: v 2 ch. Ch. 1 [Actual problems of Earth sciences: the use of natural resources and the preservation of the environment: a collection of materials Intern. scientific-practical Conf., dedicated to the Year of Science in the Republic of Belarus: in 2 parts. Part 1]. Brest, 2017, pp. 241–245. (in Russian)
29. Zhilko V. V., Yaroschevich L. M. *Vetrovaya eroziya pochv i bor'ba s nej* [Wind erosion and soil control]. *Problemy Poles'ya = Problems of Polesie*, 1974, no. 3, pp. 94–110. (in Russian)
30. Yaroshevich L. M., Krishtal' Yu. I. *Ekologicheskie problemy erozii pochv v Poles'e* [Ecological problems of soil erosion in Polesie]. *Problemy Poles'ya = Problems of Polesie*, 1991, no. 14, pp. 153–170. (in Russian)
31. Gribko A. V. *Osobennosti morfologii i zakonomernosti geograficheskogo rasprostraneniya eolovykh form rel'efa Brestskogo i Volynskogo Poles'ya* [Peculiarities of morphology and regularities of geographical distribution of aeolian forms of relief of Brest and Volyn Polesie]. *Nauk. visnik Volin'sk. natsion. un-tu im. Lesi Ukrainskoi = Sci. newsletter Volynsk. national. University named Lesya Ukrainka*, 2009, no. 4, pp. 252–259. (in Russian)

Информация об авторе

Кухарик Евгений Александрович – мл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь).
E-mail: shzhk@mail.ru

Information about the author

Evgeniy A. Kukharik – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus).
E-mail: shzhk@mail.ru

ДОСТУП К ПИТЬЕВОЙ ВОДЕ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ БЕЛАРУСИ

О. В. Кадацкая, Е. П. Овчарова, Е. В. Санец

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Безопасная и доступная вода является необходимым условием, улучшающим качество жизни людей, независимо от того, используется она для питья, хозяйствственно-бытовых нужд или других целей. Современная система водоснабжения и более эффективное водопользование способствуют устойчивому развитию страны, вносят существенный вклад в ее экологическую безопасность. В этой связи анализ обеспеченности населения Беларуси питьевой водой становится необходимым элементом как оценки качества жизни населения, так и состояния окружающей среды. В качестве критерии оценки состояния водных ресурсов, направленных на хозяйственно-питьевые нужды, анализировались следующие показатели: забор пресных вод; использование воды на различные нужды; хозяйственно-питьевое потребление воды на душу населения в разрезе страны, регионов и городов; вода, поставляемая отраслью водоснабжения, и доступ населения к этой воде; доступ населения к централизованному водоснабжению. Рассматривались также потери воды при транспортировке в сфере жилищно-коммунального хозяйства, доля проб воды из коммунального водопровода и из источников децентрализованного водоснабжения, не соответствующих нормам питьевой воды. С использованием официальных данных Национального статистического комитета Республики Беларусь и информации, опубликованной в экологических бюллетенях «Состояние природной среды Беларусь» и государственных водных кадастрах проанализированы состояние и использование водных ресурсов Беларуси в сфере обеспечения населения страны питьевой водой, а также выявлены основные тенденции в изменении количественных параметров водоснабжения населения. Рассмотрены также и вопросы качества вод, используемых населением для бытового потребления. В ходе исследования рассматривались три многолетних периода: период (2012–2017 гг.), в наибольшей степени отражающий тенденции в современном состоянии водопользования в стране, а также два периода (2001–2017 гг. и 2005–2017 гг.), позволяющие выявить переломный момент перехода экстенсивного использования водных ресурсов к интенсивному водопользованию.

Ключевые слова: обеспеченность водными ресурсами; водопотребление; доступ к водоснабжению; удельное водопотребление; качество воды.

Для цитирования. Кадацкая О. В., Овчарова Е. П., Санец Е. В. Доступ к питьевой воде как фактор устойчивого развития Беларуси // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 74–85.

ACCESS TO DRINKING WATER AS A FACTOR OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF BELARUS

O. V. Kadetskaya, A. P. Aucharova, E. V. Sanets

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

Abstract. Safe and affordable water is a prerequisite for improving the quality of life of people, regardless of whether it is used for drinking, household needs or other purposes. Modern water supply system and more efficient water use contribute to the sustainable development of the country, making a significant contribution to its environmental safety. As criteria for assessing the state of water resources, aimed at providing the population of the country with water for drinking purposes, the following indicators were analyzed: freshwater abstraction; water use for various needs; household consumption of water per capita; water supplied by the water supply industry, and public access to this water; public access to centralized water supply. Water losses during transportation in the housing sector were also considered. The quality of drinking water was estimated by the number of water samples from the water supply systems and from decentralized sources of water supply that did not meet drinking water standards. The state and use of water resources of Belarus in the field of drinking water supply was analyzed using official data of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus and information published in the bulletins "State of the Environment of Belarus" and in state water cadastres,. Three long-term periods were considered: the period (2012–2017), which most accurately reflects the trends in the current state of water use in the country, as well as two periods (2001–2017 and 2005–2017) that allow establishing a turning point of transition from the extensive use of water resources to intensive water use.

Key words: water resources; water consumption; access to water supply; specific water consumption; water quality.

For citation. Kadetskaya O. V., Aucharova A. P., Sanets E. V. Access to drinking water as a factor of sustainable development of Belarus. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 74–85.

Введение. Роль воды в сохранении природной среды и социально-экономическом развитии стран рассматривается во всем мире как приоритетная. Тезис Индиры Ганди, известного в прошлом общественного и политического деятеля Индии, «Цивилизация – это диалог между человеком и водой» в полной мере отражает значение воды для природы и общества, необходимость бережного отношения к воде как источнику жизни и экономического процветания нынешних и будущих поколений. Причем удовлетворение базовых потребностей людей в безопасной питьевой воде не только улучшает качество жизни людей, но и становится важнейшим условием устойчивого развития современного общества. Общеизвестно, что Беларусь располагает достаточными ресурсами природных вод для обеспечения как современных, так и перспективных потребностей страны в воде. По оценкам специалистов степень освоения ресурсов подземных вод в целом по Беларуси не превышает 35 % от утвержденных и 7 % от объемов прогнозных ресурсов [1]. Использование поверхностных водных ресурсов (речного стока) составляет менее 10 % от величины стока, формирующегося в пределах страны в год 95 %-ной обеспеченности.

Достаточность водных ресурсов в мировой практике оценивается, как правило, с помощью удельного показателя водообеспеченности (отношения объема среднегодового речного стока к количеству населения). Исходя из данного показателя, обеспеченность водными ресурсами жителей Беларуси близка к среднеевропейской – 6,1 тыс. м³/чел. в год, но при этом значительно выше, чем в соседних странах – Польше (1,7 тыс. м³/чел.) и Украине (4,1 тыс. м³/чел.) [2].

В то же время объем запасов природных вод не всегда определяет ее доступность и безопасность для хозяйствственно-питьевых нужд населения страны. В этой связи возникает необходимость в анализе современного состояния водного хозяйства Беларуси и выявлении тенденций в изменении водопотребления природных вод.

Материалы, методы и результаты исследования. В качестве критерии оценки водно-ресурсного потенциала Беларуси для обеспечения страны водой на хозяйствственно-питьевые нужды рассматривались следующие показатели: забор пресных вод; водопотребление; хозяйствственно-питьевое (бытовое) водопотребление на душу населения; вода, поставляемая отраслью водоснабжения, и доступ населения к этой воде; доступ населения к централизованному водоснабжению. Указанные показатели относятся к количественным индикаторам группы С «Водные ресурсы», которые подготовлены Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь в 2017 г. в рамках проекта по созданию Совместной системы экологической информации в странах «Восточного партнерства» [3]. Кроме того, анализировались многолетние данные по использованию водных ресурсов, опубликованные в сборниках «Охрана окружающей среды» Национального статистического комитета Республики Беларусь [4, 5], экологических бюллетенях «Состояние природной среды Беларуси [6–8] и Государственных водных кадастрах [9–11]. При этом рассматривалось несколько многолетних отрезков: период (2012–2017 гг.), в наибольшей степени отражающий тенденции в современном состоянии водопользования в стране, а также два периода (2001–2017 гг. и 2005–2017 гг.), позволяющие выявить переломный момент перехода экстенсивного использования водных ресурсов к интенсивному водопользованию.

Экологический показатель «забор пресных вод» позволяет оценить давление на окружающую среду в связи с изъятием поверхностных и подземных вод, выявить тенденции в изменении объемов забираемой пресной воды, по направленности которых можно судить об эффективности использования водных ресурсов в Беларуси.

Следует отметить, что ретроспективный анализ рассматриваемого индикатора показал, что, начиная с 1990 г. прослеживается четкая тенденция к сокращению объемов воды, изымаемых из природных источников. Так, забор воды в 2012 г. по сравнению с 1990 г. уменьшился в 1,8 раза и составил 1641 млн м³. При этом отмечено и изменение структуры водозабора: основным источником добычи воды становятся подземные воды. Подобная ситуация характерна для страны с 1995 г. Так, если на подземные воды в 1990 г. приходилось 40 % изъятой из природных источников воды, то в 2012 г. их доля составила 55 %. Снижение объемов забранной воды, естественно, сопровождалось уменьшением удельного показателя забора воды на душу населения в год: с 295 м³/чел. в 1990 г. до 173 м³/чел. в 2012 г. [12].

Установленные ранее тенденции в отношении забора воды и его структуры наблюдаются и в настоящее время. Общий объем добычи пресных вод продолжает сокращаться: в ряду рассматриваемых лет (2012–2017 гг.) исключением явился только 2016 г., для которого характерен рост количества изъятой воды за счет забора поверхностной воды (табл. 1).

Причем интенсивность снижения изъятия воды из поверхностных источников наиболее четко выражена. В сравнении с 2012 г. объем забора поверхностной воды уменьшился на 158 млн м³, подземной – на 88 млн м³.

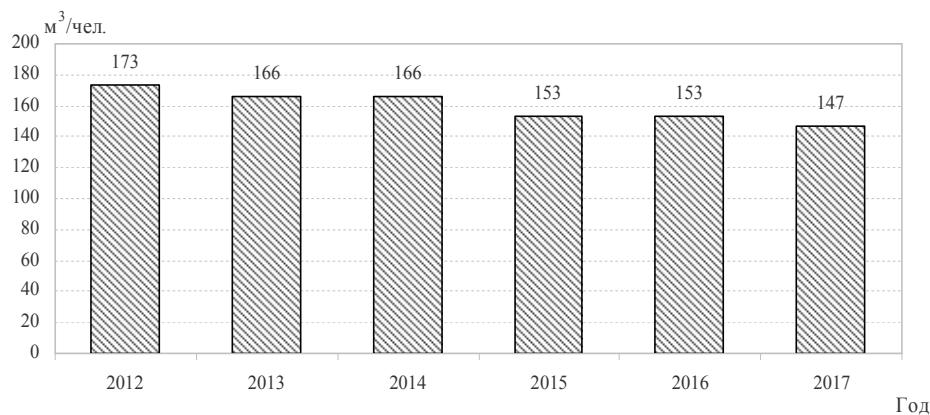
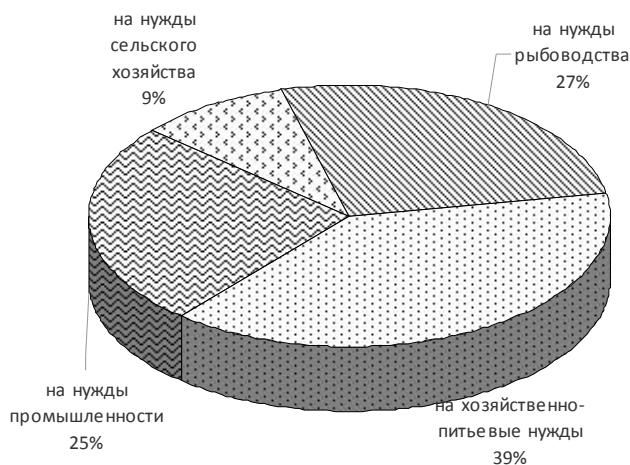
В структуре водозабора во все рассматриваемые годы доминировала добыча подземных вод, доля которых в общем количестве изъятой воды варьировала в диапазоне 55–59 %.

Таблица 1. Добыча пресных вод и структура водозабора, 2012–2017 гг.**Table 1. Extraction of fresh water and the structure of its water intake, 2012–2017**

Год	Добыча воды, млн м ³			Забор подземной воды, %
	всего	поверхностной	подземной	
2012	1642	744	898	55
2013	1571	696	874	56
2014	1571	704	867	55
2015	1448	603	845	58
2016	1451	633	818	56
2017	1396	586	810	59

Общее снижение добываемой воды, характерное для рассматриваемого периода, отразилось на удельном показателе забора воды на душу населения в год. В 2017 г. из природных источников в расчете на одного жителя Беларусь в среднем добыто 147 м³ воды. Объем изъятой воды оказался наименьшим за рассматриваемый многолетний период и сократился по сравнению с 2012 г. на 26 м³ (рис. 1).

Одновременно с сокращением добывчи пресных вод отмечается и тенденция к уменьшению водопотребления. На различные нужды в сфере экономики в 2017 г. израсходовано 1264 млн м³ воды, т. е. на 178 млн м³ меньше, чем в 2012 г. и на 38 млн м³, чем в 2016 г. При этом в структуре водопользования, как и в предшествующие годы, приоритетным направлением использования является хозяйствственно-питьевое водоснабжение, на которое пришлось 493 млн м³ воды (рис. 2).

**Рис. 1. Динамика добычи воды из природных источников в расчете на одного жителя Беларусь****Fig. 1. Dynamics of fresh water extraction from natural sources per capita in Belarus****Рис. 2. Доля использованной воды на различные нужды, 2017 г.****Fig. 2. Proportion of water used for various needs, 2017**

В рассматриваемый период (2012–2017 гг.) на хозяйствственно-питьевые нужды расходовалось от 34 до 39 % от общего количества использованной воды, на нужды промышленности – 25–31, сельского хозяйства – до 9 и рыбоводства – 23–28 %.

В настоящее время население Беларуси обеспечивается питьевой водой главным образом из подземных источников, санитарно-гигиеническое состояние которых на действующих водозаборах в основном отвечает установленным требованиям, за исключением повышенного содержания в воде железа и марганца, в отдельных случаях – бора, фтора и некоторых других компонентов, что является следствием гидрологических особенностей территории страны. Только в г. Минске часть жителей столицы получают воду из поверхностного водозaborа (водохранилище Крылово, образованного в результате строительства Вилейско-Минской водной системы). Однако еще в конце 1990-х годов вода из поверхностных водозаборов, кроме г. Минска, полностью обеспечивала жителей г. Полоцка и частично городов Гродно и Гомеля [13]. Следует отметить, что из-за содержания остаточного хлора, после обеззараживания воды, а также меньшего количества присутствующих в ней минеральных солей, вода из поверхностного водозaborа г. Минска по вкусовым качествам уступает подземной.

Удельное водопотребление, характеризующее количество воды, расходуемое на хозяйствственно-питьевые нужды в расчете на одного человека за определенный промежуток времени, как правило, в год или сутки, является важным экологическим показателем, свидетельствующим не только о доступности воды, но и об эффективности ее использования. Отметим, что данный показатель включает общий объем воды, который обеспечивает ею не только домохозяйства, но и различные организации в разрезе страны, областей и населенных пунктов, являясь индикатором рационального использования воды в сфере водоснабжения.

В мировой практике наиболее востребован удельный показатель хозяйственно-питьевого водопотребления, характеризующий использование воды на одного человека в сутки [14]. В 2017 г. рассматриваемый индикатор в целом для страны не превысил 142 л/сут/чел., и находился в пределах потребления воды в большинстве стран Европы (120–150 л/сут/чел.). При рассмотрении данного показателя за более длительный период отмечается, что ощущимое снижение объемов водопотребления произошло между 2005 и 2010 г.: с 206 л/сут/чел. (2005 г.) до 143 л/сут/чел. (2010 г.) [6, 7]. В последующие годы (2012–2017 гг.) величина удельного водопотребления варьировала в пределах 137–143 л/сут/чел. В то же время на уровне регионов рассматриваемый показатель изменялся в более широком диапазоне, составляя в основном 110–184 л/сут/чел. Исключением явилась Минская область, где потребление воды увеличилось в 2016 г. до 208 л/сут/чел. (табл. 2), хотя объективные причины, объясняющие рост водопотребления, не установлены.

Таблица 2. Удельное водопотребление на хозяйствственно-питьевые нужды в областях Беларуси и г. Минске, 2012–2017 гг., л/сут/чел.*

Table 2. Specific water consumption for domestic and drinking needs in the administrative regions of Belarus and in Minsk, 2012–2017, l/day/person

Область	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Брестская	124	118	118	118	110	118
Витебская	125	123	120	120	123	120
Гомельская	127	126	126	126	134	131
Гродненская	138	131	126	129	123	134
Минская	184	129	129	129	208	159
Могилевская	166	140	134	135	115	145
Минск	184	181	181	181	175	170
Республика Беларусь	143	138	137	137	145	142

* Рассчитано с использованием данных Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Вместе с тем следует заметить, что, начиная с 2013 г., для большинства областей страны удельный показатель потребления воды согласуется с европейскими нормами использования воды на хозяйствственно-питьевые нужды и указывает на выполнение мероприятий, направленных на экономию воды в отрасли водоснабжения. Наиболее отчетливо данный факт иллюстрируется рис. 3, на котором показано сокращения водопотребления в 2017 г. по сравнению с 2005 г.: его диапазон составил 11–36 %.

Максимальное снижение потребления воды (на 75 л/сут/чел.) зафиксировано для Гомельской области минимальное – для Минского региона (на 11 л/сут/чел.).

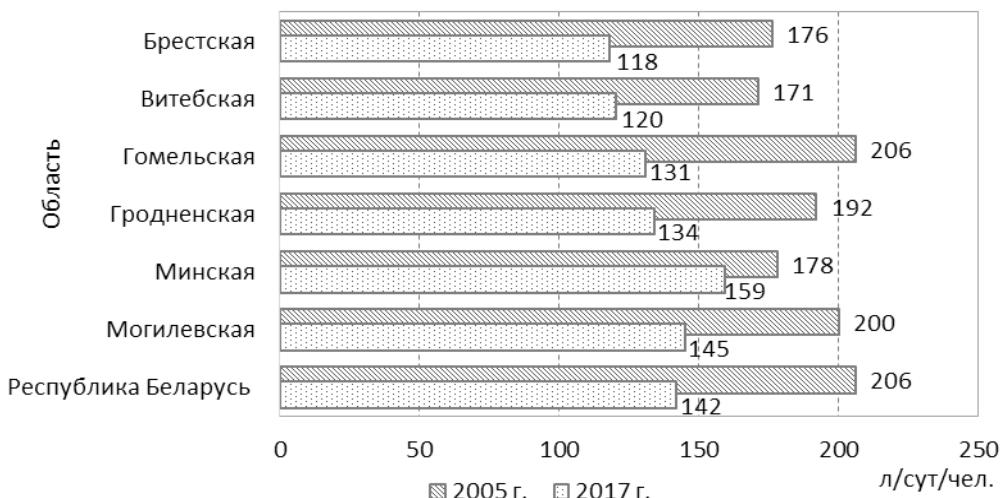


Рис. 3. Удельное потребление воды на хозяйствственно-питьевые нужды в административных областях Беларуси, 2005 и 2017 г.

Fig. 3. Specific water consumption for domestic and drinking needs of the administrative regions of Belarus, 2005 and 2017

В городах хозяйствственно-питьевое водопотребление, как правило, превышает среднерегиональные величины. По сравнению со средним показателем, установленном в Беларуси в 2017 г., в большинстве областных городов удельное водопотребление возрастает до объемов, достигающих или превышающих величину верхнего предела европейского «стандарт» (150 л/сут/чел.). Исключение составил только г. Витебск, где использовано в среднем 139 л/сут/чел. (рис. 4).

Однако ретроспективный анализ потребления воды на хозяйствственно-питьевые нужды удостоверяет существенное сокращение количества воды, расходуемого в городах. Так, сопоставление объемов использованной воды в 2005 и 2017 г. показало, что во всех городах, представленных на рис. 4, количество водопотребления уменьшилось в 1,7–1,9 раза. Наиболее значительное сокращение имело место в городах Минске и Гродно – на 147 и 141 л/сут/чел. соответственно, в Могилеве оно составило 127 л/сут/чел., в Бресте – 115, в Гомеле – 113, в Витебске – 111 л/сут/чел. Сказанное свидетельствует о положительных переменах в системе водоснабжения городов страны.

Наряду с сокращением удельного показателя общего хозяйствственно-питьевого водопотребления отчетливо прослеживается тенденция к снижению объемов воды, использованной собственно на нужды населения в жилом комплексе населенных пунктов Беларуси [3].

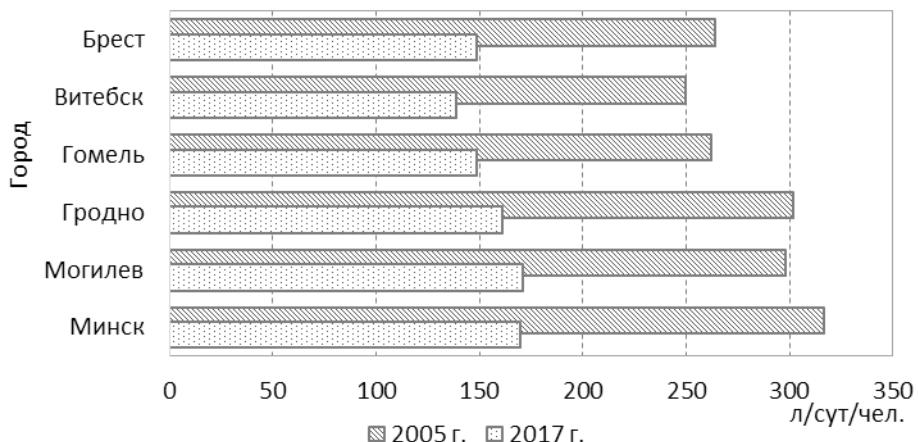


Рис. 4. Удельное потребление воды на хозяйствственно-питьевые нужды в областных городах Беларуси и г. Минске, 2005 и 2017 г.

Fig. 4. Specific water consumption for domestic and drinking needs in the regional cities of Belarus and in Minsk, in 2005 and 2017

В начале 2000-х годов потребление воды на душу населения находилось в диапазоне 70–72 м³/год/чел. (192–197 л/сут/чел.), в последние годы (2012–2017 гг.) варьировало от 37 до 40,1 м³/год/чел. (101–110 л/сут/чел.), свидетельствуя о существенном экономии воды населением страны на хозяйствственно-питьевые нужды. Объем удельного водопотребления по сравнению с 2001 г. сократился в 2017 г. почти в 2,0 раза (рис. 5).

Вместе с тем доступ к безопасной и качественной питьевой воде определяется, прежде всего, степенью обеспеченности домохозяйств населенных пунктов централизованным водоснабжением. Так, в 2017 г. охват населения страны централизованным водоснабжением достиг практически 95 % [3] и по отношению к 2001 г. возрос на 17,2 %. При этом доля населения, обеспечивающая себя водой самостоятельно, пропорционально снизилась (рис. 6).

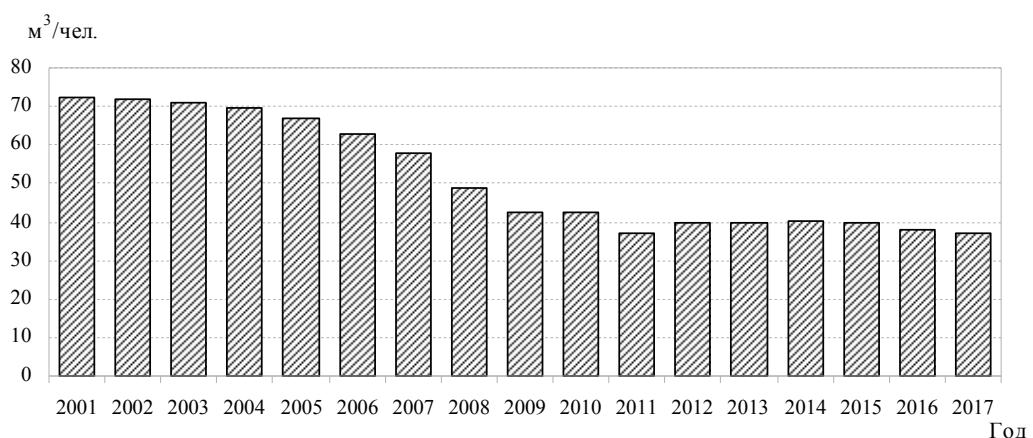


Рис. 5. Динамика объема хозяйствственно-питьевого водопотребления на душу населения в домохозяйствах Беларуси

Fig. 5. The dynamics of the volume of drinking water per capita in households in Belarus

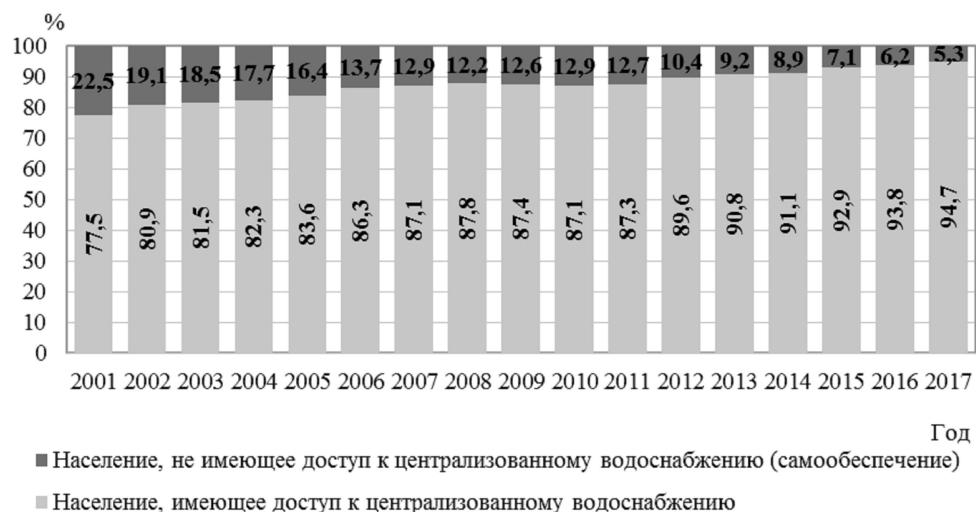


Рис. 6. Динамика соотношения долей населения, имеющих и не имеющих доступа к централизованному водоснабжению

Fig. 6. The dynamics of the ratio of the shares of the population with and without access to centralized water supply

К настоящему времени численность людей, не имеющих доступа к централизованному водоснабжению, сократилась до 0,5 млн чел. (2017 г.) и в сравнении с 2001 г. уменьшилась более чем в 4,0 раза. В то же время следует подчеркнуть, что, несмотря на рост количества людей, пользующихся централизованным водоснабжением, объем поставляемой воды имеет четко выраженную тенденцию к снижению, которая прослеживается с начала 2000-х годов (рис. 7).

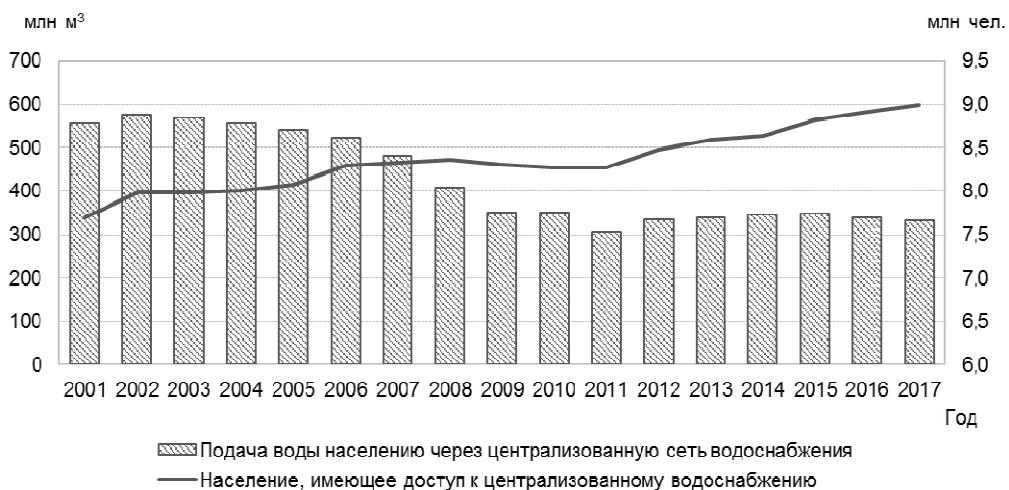


Рис. 7. Динамика объемов подачи воды населению через централизованную сеть водоснабжения и количества людей, имеющих к ней доступ

Fig. 7. Dynamics of the volumes of water supplied to the population through a centralized water supply network and the number of people with access to it

Так, в 2001 г. из централизованных систем водоснабжения на хозяйствственно-питьевые нужды 7,7 млн чел. израсходовано 558 млн м³. Начиная с 2009 г., ежегодный объем использованной воды в домохозяйствах не превышал 400 млн м³, а в 2017 г. составил всего 333 млн м³, при этом количество водопользователей возросло до 9 млн чел.

Таким образом, тенденция к экономному использованию питьевой воды подтверждается результатами, полученными при анализе рассмотренных выше показателей, что свидетельствует о позитивных переменах в системе водоснабжения, обусловленных внедрением приборного учета воды в жилом секторе городов и введением платы за использованную воду.

Рассматривая сферу хозяйствственно-питьевого водоснабжения нельзя оставить без внимания потери воды, образующиеся при транспортировке, связанные главным образом с различного рода утечками, объем которых в значительной мере зависит от технического состояния водопроводных систем на урбанизированных территориях. Тенденции в изменении количественного показателя «потери воды» позволяют оценить результативность мер, направленных на улучшение работы отрасли водоснабжения Беларуси.

В течение рассматриваемого периода (2001–2017 гг.) ежегодные потери воды при транспортировке в целом для страны изменялись в диапазоне от 58–117 млн м³, их максимальный объем отмечен в 2002 г, минимальный – в 2017 г. Объемы потерь более 100 млн м³ характерны практически для всех лет первого десятилетия 2000-х годов. Начиная с 2011 г., прослеживается устойчивая тенденция к снижению величин рассматриваемого показателя (рис. 8).

Как видно из рис. 8, основной объем потерь воды при транспортировке, как правило, формируется в пределах урбанизированных территорий в сфере жилищно-коммунального хозяйства городов в результате различного рода утечек при подаче воды потребителям. Так, на долю г. Минска и областных городов страны приходится от 47 до 66 % установленных потерь. Вместе с тем следует отметить, что в последние годы (2011–2017 гг.) существенный вклад в сокращение потерь воды обусловлен мерами, направленными на улучшение водопроводно-канализационной сети в рассматриваемых городах.

Доступ населения к питьевой воде определяется, как известно, не только количеством водных ресурсов, экономическими возможностями и особенностями водопользования в стране, но и качеством воды, используемой для хозяйствственно-питьевых нужд. Питьевая вода должна быть прозрачной, без посторонних запахов, безвредной по химическому составу и не содержать возбудителей инфекционных заболеваний.

Несмотря на тот факт, что качество подземной воды на действующих водозаборах Беларуси в основном отвечает установленным требованиям, в ряде случаев фиксируются отклонения подаваемой коммунальными водопроводами воды от нормативов как по санитарно-химическим, так и по микробиологическим показателям. Аналогичная ситуация характерна и для населенных пунктов, жители которых не имеют доступа к централизованному водоснабжению и обеспечивают себя водой самостоятельно.



Рис. 8. Объем потерь воды при транспортировке к местам водопользования в Беларусь и крупных городах страны

Fig. 8. The volume of water losses during transportation to water use places in Belarus and major cities of the country

Основная проблема качества питьевых вод в Беларусь – повышенное содержание железа и марганца в воде из подземных водозаборов – обусловлена природными условиями их формирования. Однако с ней приходится сталкиваться при эксплуатации многих групповых водозаборов и одиночных скважин. Более 70 % артезианских скважин на территории Беларусь имеют воду с содержанием железа, превышающим норматив ($0,3 \text{ мг}/\text{дм}^3$), а в зоне Полесья доля этих скважин достигает 90–95 %. Решается данная проблема путем строительства станций обезжелезивания.

Согласно руководству Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по качеству питьевой воды, концентрация железа общего в воде 2 мг/л не представляет опасности для здоровья человека. В то же время при высоком содержании железа значительно ухудшаются вкусовые качества воды, наблюдаются повышенная мутность и цветность [2].

Соответствие подаваемой населению питьевой воды санитарно-гигиеническим требованиям контролируется государственными органами санитарного надзора и самой организацией, осуществляющей водоснабжение. Санитарно-эпидемиологическая служба страны ежегодно контролирует как подземные источники и один поверхностный источник (г. Минск) централизованного хозяйствственно-питьевого водоснабжения, так и источники нецентрализованного водоснабжения общего пользования. Так, в количестве обследованных артезианских скважин на водозаборах подземных вод 2016 г. составило 17 199, а в 2017 г. – 17 080, а нецентрализованных – 31 865 и 30 737 соответственно [10, 11]. Полученные гидрохимические и микробиологические показатели позволяют охарактеризовать качество вод, используемых населением страны на хозяйствственно-питьевые нужды.

По результатам контроля в целом для Беларусь 38,3 % (в 2016 г. – 36,7 %) проб воды из общего количества обследованных источников централизованного водоснабжения не соответствовали нормативам по санитарно-химическим показателям, характеризующим токсикологические и органолептические свойства питьевых вод, в некоторых из них отмечалось превышение гигиенических нормативов в 3,0–5,0 раз. В 2017 г. такие пробы подземной воды составили 7,1 %, 2016 г. – 5,7 % [10, 11].

Отклонение от гигиенических нормативов обусловлено главным образом высоким содержанием в воде железа и, как следствие, наблюдается увеличение показателей по цветности и мутности. В 2016 г. 41,3 % всех исследованных проб воды из артезианских скважин страны не соответствовали гигиеническим нормативам по содержанию железа, в 2017 г. их количество составило 44,8 % [10, 11]. В то же время в 8,8 и 9,2 % случаев в 2016 и 2017 г. соответственно концентрация рассматриваемого ингредиента в воде скважин достигала значения ПДК 5 и более. Превышение в питьевой воде содержания марганца в 2017 г. зарегистрировано в 7,5 % исследованных проб воды, в 2016 г. – 4,9 %. В эти же годы в небольшом количестве проб питьевых вод отмечалось повышенное содержание аммиака (1,0–1,2 % исследованных проб), фтора (0,2–0,3) и нитратов (1,2–1,5 % исследованных проб). Загрязнение питьевой воды нитратами характерно в основном для скважин, подающих воду из неглубоких водоносных горизонтов, а также для источников нецентрализованного хозяйствственно-питьевого водоснабжения (шахтных колодцев). Для источников централизованного водоснабжения подобный результат объясняется в основном нарушением норм и правил в отношении санитарно-технического состояния зон санитарной охраны водозаборов.

Качество воды по микробиологическим показателям, гарантирующее безопасность воды, определяется отсутствием в ней болезнетворных бактерий, вирусов и простейших микроорганизмов и характеризует ее соответствие нормативам по микробиологическим и паразитологическим показателям. Исходя из рекомендаций ВОЗ, вода считается безопасной в эпидемиологическом отношении, если количество проб, не соответствующих гигиеническим нормативам по микробиологическим показателям, не превышает 5 % [2]. По результатам контроля соответствия качества питьевой воды установленным в Беларусь нормативам отклонения микробиологических показателей выявлены в 0,4 и 0,5 % проб воды в 2016 и 2017 г. соответственно [10, 11].

При обследовании источников нецентрализованного хозяйствственно-питьевого водоснабжения общего пользования (шахтных колодцев) в 2016–2017 гг. удельный вес проб воды, не соответствующих по санитарно-химическим показателям гигиеническим нормативам, в 2016 г. составил 26,8 %, в 2017 г. – 27,3 %. В отличие от подземных источников централизованного водоснабжения основная причина нарушения качества воды – повышенное содержание в воде колодцев нитратов. Из всего количества нестандартных проб воды содержание нитратов больше норматива для питьевых вод обнаружено в 25,0 % (2016 г.) и 24,5 % (2017 г.) проб. Ситуация с качеством воды по микробиологическим показателям оказалась неудовлетворительной в 10,9 % водных проб в 2016 г. и 12,5 % в 2017 г. от общего количества обследованных вод шахтных колодцев.

В то же время следует отметить, что ситуация выглядит менее оптимистично при анализе данных по загрязнению воды частных колодцев, поскольку официальная статистика главным образом отражает качество воды колодцев общего пользования, состоящих на балансе местных органов власти, местоположение и обустройство которых выгодно отличается от колодцев индивидуального пользования.

По данным работы [15] концентрация нитратов в грунтовых водах, опробуемых частных колодцев, в выборке из 1029 проб составляла в среднем 150,9 мг/дм³, превышая ПДК (45 мг/дм³) более чем в 3,0 раза. При этом в отдельных случаях отмечалось содержание нитратов до 600 мг/дм³ и более.

О неблагополучном состоянии питьевой воды в сельской местности говорят и результаты, полученные в ходе выполнения общественного проекта «Водный контроль» (2014–2017 гг.). В рамках указанного проекта жители разных регионов Беларусь имели возможность оценить содержание нитратов в воде источников водоснабжения и занести свои 2500 измерений на интерактивную карту, формируя статистику качества воды в своей местности. Тестирование воды с помощью специальной тест-полоски показало, что среднее содержание нитратов в воде колодцев составило 103,5 мг/дм³, в воде самодельных скважин глубиной менее 20 м – 112,8 мг/дм³. Содержание нитратов в воде из стационарных колонок уменьшилось до 47,4 мг/дм³ [16]. Естественно, полученные данные могут вызывать определенные сомнения, но в целом они отражают сложившуюся в сельской местности картину и не противоречат результатам ранее проведенных исследований [15].

Загрязнение источников нецентрализованного водоснабжения нитратами, как правило, связано с агрехимической деятельностью человека, в результате которой поступление некоторого количества удобрений в подземные воды становится неизбежным следствием их массового применения. Этот процесс усугубляется из-за нарушения правил агротехники, несоблюдения сроков внесения удобрений и неправильного их хранения. Кроме того, обострение ситуации может быть обусловлено наличием животноводческих комплексов, вблизи которых загрязнению подвергаются не только грунтовые, но и глубоко залегающие напорные воды. Наличие в воде колодцев нитратов и микробиологических показателей выше установленной нормы в большинстве случаев является прямым следствием близкого расположения от колодца хозяйственных построек местных жителей, главным образом выгребов и сараев для скота. Кроме того, при ежегодном обследовании источников нецентрализованного водоснабжения выявляются шахтные колодцы, которые не отвечают санитарным правилам по их обустройству.

Таким образом, анализ качества питьевой воды показал, что часть населения страны все еще потребляет воду с отклонениями от санитарно-гигиенических нормативов.

Заключение. Доступ населения к питьевой воде обеспечивается двумя основными факторами: достаточностью водных ресурсов и уровнем развития системы водоснабжения, направленной на обоснованное использование водно-ресурсного потенциала страны. Одним из показателей рационального функционирования водного хозяйства страны стало общее снижение объемов воды, использованной на удовлетворение хозяйственно-питьевых нужд в Беларусь, что проявилось в уменьшении потребления воды на душу населения.

Заметное снижение объемов удельного водопотребления для Беларусь в целом отмечено в период с 2005 по 2010 г.: с 206 л/сут/чел. (2005 г.) до 143 л/сут/чел. (2010 г.). В последующие годы (2012–2017 гг.) величина удельного потребления воды на хозяйственно-питьевые нужды варьировала в пределах 137–143 л/сут/чел.

На фоне сокращения удельного показателя хозяйствственно-питьевого водопотребления, характеризующего общий объем воды, направленной на обеспечение как домохозяйств, так и различных организаций страны, отчетливо прослеживается тенденция к снижению количества воды, использованной собственно на нужды населения в жилом комплексе населенных пунктов Беларуси. За счет экономного отношения к воде ее потребление уменьшилось в 2017 г. по сравнению с 2005 г. на 30 м³/год/чел. (83 л/сут/чел.) и составило 37 м³/год/чел. (101 л/сут/чел.).

Отмеченная тенденция к экономическому использованию питьевой воды свидетельствует о позитивных переменах в системе водного хозяйства страны, обусловленных внедрением приборного учета воды в жилом секторе городов и введением платы за использованную воду.

Согласно официальным данным, обеспеченность домохозяйств населенных пунктов централизованным водоснабжением достигла в 2017 г. 95 % и по отношению к 2001 г. возросла на 17,2 %, обеспечивая доступ к безопасной и качественной питьевой воде.

Несмотря на рост числа людей, пользующихся централизованным водоснабжением, объем поставляемой воды имеет четко выраженную тенденцию к снижению: в 2001 г. на хозяйствственно-питьевые нужды 7,7 млн чел. израсходовано 558 млн м³, в 2017 г. – 333 млн м³, причем количество водопользователей возросло до 9 млн чел. Таким образом подтверждается факт рационального использования водно-ресурсного потенциала страны.

В сфере хозяйствственно-питьевого водоснабжения объем потерь воды, образующихся при транспортировке, связан в основном с техническим состоянием водопроводных систем на урбанизированных территориях. В последние годы (2011–2017 гг.) наблюдается уменьшение потерь воды, что, по-видимому, обусловлено мерами, направленными на улучшение водопроводно-канализационной сети в областных городах Беларуси.

Установленные в результате санитарного надзора источников питьевого водоснабжения отклонения ряда показателей состава питьевой воды от санитарно-химических и микробиологических нормативов указывают о необходимости обеспечения всего населения страны доступом к безопасной питьевой воде. Особенно остро проблема качества питьевой воды стоит в сельской местности при использовании частных шахтных колодцев. По-видимому, пришло время отказаться от колодезного водоснабжения и перейти на эксплуатацию более глубоких и менее загрязненных подземных вод. С этой целью следует повсеместно распространить услуги безопасного водоснабжения, усовершенствовать систему водоснабжения и водоотведения, осуществить строительство и реконструкцию объектов водоподачи и водоподготовки, в первую очередь станций обезжелезивания. Согласно работе [17] реализация поставленных задач заключается в достижении 100 %-ной обеспеченности населения Беларуси к 2030 г. услугами водоснабжения, организованного с соблюдением требований безопасности.

Список использованных источников

1. Кудельский, А. В. Региональная гидрогеология и геохимия подземных вод Беларуси / А. В. Кудельский, В. И. Пашкевич. – Минск, 2014. – 271 с.
2. Состояние окружающей среды Республики Беларусь : нац. доклад / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Нац. акад. наук Беларусь, Ин-т природопользования. – Минск, 2010 – 150 с.
3. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. С. Водные ресурсы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovremenstnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii/c-vodnye-resursy/>. – Дата доступа: 06.06.2019.
4. Охрана окружающей среды : стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2018. – 227 с.
5. Охрана окружающей среды : стат. сб. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2017. – 235 с.
6. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2005 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2006. – 324 с.
7. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2012 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2013. – 363 с.
8. Состояние природной среды Беларуси : экол. бюл. 2014 г. / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2015. – 344 с.
9. Фактическое водопользование и отведение сточных вод в Республике Беларусь (за 2010 г.) : гос. вод. кадастры / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов. – Минск, 2011. – 35 с.
10. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2016 г.) : гос. вод. кадастры / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов. – Минск, 2017. – 171 с.

11. Водные ресурсы, их использование и качество вод (за 2017 г.) : гос. вод. кадастр / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов. – Минск, 2018. – 223 с.
12. Кадацкая, О. В. Тенденции изменения водопользования в Беларуси / О. В. Кадацкая, Е. В. Санец // Природопользование. – 2014. – Вып. 25.– С. 82–90.
13. Природная среда Беларуси / под ред. В. Ф. Логинова. – Минск, 2002. – 424 с.
14. Кадацкая, О. В. Экологические показатели оценки водных ресурсов Беларуси / О. В. Кадацкая // Актуальные проблемы геоэкологии и ландшафтования : сб. науч. ст. – 2013. – Вып. 1. – С. 53–56.
15. Оценка уровней нитратного загрязнения подземных вод, используемых для централизованного и нецентрализованного водоснабжения / В. И. Пашкевич [и др.] // Природные ресурсы. – 2003. – № 3. – С. 101–103.
16. Сколько нитратов в белорусской воде? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ecoidea.by/ru/article/1316>. – Дата доступа: 16.10.2019.
17. Станкевич, А. П. Водная стратегия Республики Беларусь на период до 2030 г. / А. П. Станкевич // Водные ресурсы и климат : материалы V Междунар. вод. форума : в 2 ч. – Минск, 2017. – Ч. 1. – С. 26–27.

References

1. Kudel'skiy A. V., Pashkevich V. I. *Regional'naya gidrogeologiya i geokhimiya podzemnykh vod Belarusi* [Regional hydrogeology and geochemistry of groundwater Belarus]. Minsk, 2014, 271 p. (in Russian)
2. *Sostoyaniye okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus'*: natsional'nyy doklad [The state of the environment of the Republic of Belarus: national report]. *Ministerstvo prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus'*, Institut prirodopol'zovaniya NAN Belarusi [Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, Institute for Nature Management of the NAS of Belarus]. Minsk, 2010, 150 p. (in Russian)
3. *Natsional'nyy statisticheskiy komitet respubliki Belarus'*. S. *Vodnye resursy* [National Statistical Committee of the Republic of Belarus. C. Water resources]. Available at: <http://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayuschaya-sreda/sovremenaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii/c-vodnye-resursy/> (accessed 6 June 2019). (in Russian)
4. *Okhrana okruzhayushchey sredy. Statisticheskiy sbornik* [Environmental protection. Statistical compilation]. *Natsional'nyy statisticheskiy komitet Respubliki Belarus'* [National Statistical Committee of the Republic of Belarus]. Minsk, 2018, 227 p. (in Russian)
5. *Okhrana okruzhayushchey sredy. Statisticheskiy sbornik* [Environmental protection. Statistical compilation]. *Natsional'nyy statisticheskiy komitet Respubliki Belarus'* [National Statistical Committee of the Republic of Belarus]. Minsk, 2017, 235 p. (in Russian)
6. *Sostoyaniye prirodnoy sredy Belarusi. Ekol. byul.* 2005 g. [The state of the environment of Belarus. Ecol. bull. 2005]. Ed. V. F. Loginov. Minsk, 2006, 324 p. (in Russian)
7. *Sostoyaniye prirodnoy sredy Belarusi. Ekol. byul.* 2012 g. [The state of the environment of Belarus. Ecol. bull. 2012]. Ed. V. F. Loginov. Minsk, 2013, 363 p. (in Russian)
8. *Sostoyaniye prirodnoy sredy Belarusi. Ekol. byul.* 2014 g. [The state of the environment of Belarus. Ecol. bull. 2014]. Ed. V. F. Loginov. Minsk, 2015, 344 p. (in Russian)
9. *Fakticheskoye vodopol'zovaniye i otvedeniye stochnykh vod v Respublike Belarus' (za 2010 g.). Gosudarstvennyy vodnyy kadastr* [Actual Water Use and Sewage Disposal in the Republic of Belarus (for 2010). State Water Cadastre]. *Ministerstvo prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus'*, Tsentral'nyy nauchno-issledovatel'skiy institut kompleksnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov [Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, RUE Central Research Institute for the Integrated Use of Water Resources]. Minsk, 2011, 35 p. (in Russian)
10. *Vodnye resursy, ikh ispol'zovaniye i kachestvo vod (za 2016 g.). Gosudarstvennyy vodnyy kadastr* [Water resources, their use and water quality (for 2016). State Water Cadastre]. *Ministerstvo prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus'*, Tsentral'nyy nauchno-issledovatel'skiy institut kompleksnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov [Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, RUE Central Research Institute for the Integrated Use of Water Resources]. Minsk, 2017, 171 p. (in Russian)
11. *Vodnye resursy, ikh ispol'zovaniye i kachestvo vod (za 2017 g.). Gosudarstvennyy vodnyy kadastr* [Water resources, their use and water quality (for 2017). State Water Cadastre]. *Ministerstvo prirodnykh resursov i okhrany okruzhayushchey sredy Respubliki Belarus'*, Tsentral'nyy nauchno-issledovatel'skiy institut kompleksnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov [Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, RUE Central Research Institute for the Integrated Use of Water Resources]. Minsk, 2018, 223 p. (in Russian)
12. Kadatetskaya O. V., Sanets E. V. *Tendentsii izmeneniya vodopol'zovaniya v Belarusi* [Trends in water use in Belarus]. *Prirodopol'zovaniye = Nature management*, 2014, vol. 25, pp. 82–90. (in Russian)
13. *Prirodnaya sreda Belarusi* [The natural environment of Belarus]. Ed. V. F. Loginov. Minsk, 2002, 424 p. (in Russian)
14. Kadatetskaya O. V. *Ekologicheskiye pokazateli otsenki vodnykh resursov Belarusi* [Environmental indicators of water resources assessment in Belarus]. *Aktual'nyye problemy geoekologii i landshaftovedeniya = Actual problems of geoecology and landscape science*, 2013, vol. 1, pp. 53–56. (in Russian)
15. Pashkevich V.I., Korkin V.D., Volkova N.P., Pashkevich N.N., Leshchinskaya V.N. *Otsenka urovney nitratnogo zagryazneniya podzemnykh vod, ispol'zuyemykh dlya tsentralizovannogo i netsentralizovannogo vodosnabzheniya*

- [Assessment of nitrate levels of groundwater pollution used for centralized and non-centralized water supply]. *Prirodnye resursy = Natural Resources*, 2003, No. 3, pp. 101–103. (in Russian)
16. *Skol'ko nitratov v belorusskoy vode?* [How many nitrates are in Belarusian water?]. Available at: <https://ecoidea.by/ru/article/1316> (accessed 16 October 2019). (in Russian)
17. Stankevich A.P. *Vodnaya strategiya Respubliki Belarus' na period do 2030 g.* [The water strategy of the Republic of Belarus for the period until 2030]. *Materialy V Mezhdunarodnogo vodnogo foruma «Vodnyye resursy i klimat»* [Proc. V Int. Water Forum "Water resources and climate"]. Minsk, 2017, part 1, pp. 26–27. (in Russian)

Информация об авторах

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

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

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

Information about the authors

Olga V. Kadatskaya – Ph. D. (Geography), Senior Researcher, Institute of 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

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

Elena V. Sanets – Ph. D. (Geography), Head of Lab. of Geosystem Optimization, Institute of 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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГОРОДСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

Е. Н. Басалай

Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларусь, Брест, Беларусь

Аннотация. В статье рассмотрены городские очистные сооружения районных центров Брестской области, технологические схемы очистки сточных вод, обобщены данные о модернизации и реконструкции очистных сооружений. Проанализировано воздействие очистных сооружений на природные воды вследствие сброса нормативно-очищенных сточных вод. Рассчитаны объемы сточных вод и сбрасываемых в их составе загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты за период с 2010 по 2017 г. Оценен вклад городских очистных сооружений, расположенных на территории Брестской области, в загрязнение поверхностных вод бассейнов рек Припяти, Немана и Западного Буга.

Ключевые слова: очистные сооружения; сточные воды; осадки городских сточных вод; загрязнение; поверхностные воды.

Для цитирования. Басалай Е. Н. Оценка влияния городских очистных сооружений Брестской области на загрязнение поверхностных вод // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 86–95.

THE ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE URBAN WASTEWATER TREATMENT PLANTS OF BREST REGION ON SURFACE WATER POLLUTION

E. N. Basalai

*The Polesie Agrarian Ecological Institute of the National Academy of Sciences of Belarus,
Brest, Belarus*

Abstract. The article considers the urban wastewater treatment plants of the district centers of Brest region, presents technological schemes of wastewater treatment, summarizes the data on the modernization and reconstruction of wastewater treatment plants. The impact of treatment facilities on natural waters due to the discharge of standard-treated wastewater has been studied. Calculated volumes of wastewater and their composition of polluting substances into surface water bodies during the period 2010–2017. Contribution of wastewater treatment plants to the pollution of surface water pools rivers the Pripyat, the Neman and the Western Bug are estimated.

Key words: urban wastewater treatment plants; sewage; urban wastewater sludge; pollution; surface water.

For citation. Basalai E. N. The assessment of the influence of the urban wastewater treatment plants of Brest region on surface water pollution. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 86–95.

Введение. Одной из приоритетных экологических задач на современном этапе является охрана окружающей среды от загрязняющих веществ. Существенное влияние на состояние окружающей среды оказывают очистные сооружения (ОС) городов, которые являются источниками многообразного негативного воздействия на нее [1–11]. Сточные воды, попадающие на городские ОС, включают хозяйствственно-бытовые сточные воды от населения и производственные сточные воды, которые перед попаданием в коммунальную канализацию не всегда подвергаются должной очистке. На территории Брестской области функционирует множество предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности, которые сбрасывают сточные воды в систему городской канализации. В зависимости от состава сточных вод, наличия в них загрязняющих веществ и их концентрации, на ОС по-разному протекают процессы очистки, как физико-химической, так и биологической. Большинство ОС Брестской области построены в 1980–90-х годах и не справляются с большими объемами загрязненных сточных вод, особенно по биогенным элементам. В связи с их поступлением зачастую нарушается технология очистки, гибнет активный ил и тормозится биологическая очистка сточных вод, что сказывается на качестве отводимых с ОС сточных вод и, соответственно, негативно влияет на качество воды поверхностных водных объектов – водоприемников нормативно-очищенных сточных вод. С 2011 г. в Беларусь на законодательном уровне была установлена норма водопотребления на одно-

го жителя – 140 л/сут [12]. В связи с этим общее количество поступающей на городские ОС сточной воды уменьшилось, а концентрация загрязняющих веществ, особенно биогенных элементов, увеличилась, что создает дополнительную нагрузку на функционирующие ОС. Негативное воздействие на поверхностные водные объекты осуществляется также вследствие сброса недостаточно очищенных сточных вод и смывов с наиболее загрязненных участков водосборов, расположенных выше ОС.

Цель работы – выявить влияние городских ОС на поверхностные воды и определить их вклад в загрязнение воды рек – водоприемников сточных вод.

Методика и объекты исследования. В качестве объектов исследований выбраны ОС г. Бреста и 12 районных центров Брестской области (Барановичей, Пинска, Березы, Пружан, Дрогичина, Ивацевичей, Малориты, Иваново, Кобрину, Ганцевичей, Лунинца, Ляховичей), сбрасывающих нормативно-очищенные сточные воды в поверхностные водные объекты бассейнов рек Западного Буга, Немана и Припяти (рис. 1). Для достижения поставленной цели изучены особенности очистки сточных вод с городских ОС и обработки образующегося осадка, проанализированы данные по объему сточных вод, отводящемуся в поверхностные водные объекты. Изучен также состав сточных вод на выходе с ОС, а также воды рек – водоприемников сточных вод выше и ниже ОС.

Влияние городских ОС на поверхностные воды оценивали с использованием индекса воздействия (ИВ) – соотношения концентраций химических веществ в воде водоприемника сточных вод в створах ниже и выше расположения ОС [13] по основным загрязняющим веществам (органическим веществам по БПК₅, ХПК, нефтепродуктам, взвешенным веществам, азоту общему, нитратам, аммонийному азоту, фосфору общему, фосфатам, сульфатам, хлоридам, меди, цинку, хрому, никелю, марганцу, свинцу, кобальту, кадмию). При величине ИВ < 1,2 воздействие оценивали как незначительное или слабое, от 1,20 до 1,49 – как умеренное или среднее, от 1,5 до 3,0 – как сильное, >3,0 – как очень сильное. Среди загрязняющих веществ выбраны шесть приоритетных для поверхностных вод Брестской области: фосфор фосфатов, азот аммония, взвешенные вещества, органические вещества по БПК₅, хлориды и сульфаты [13, 14], для которых рассчитаны среднегодовые концентрации и масса загрязняющих веществ, сбрасываемых в водные объекты в составе сточных вод (т/год).

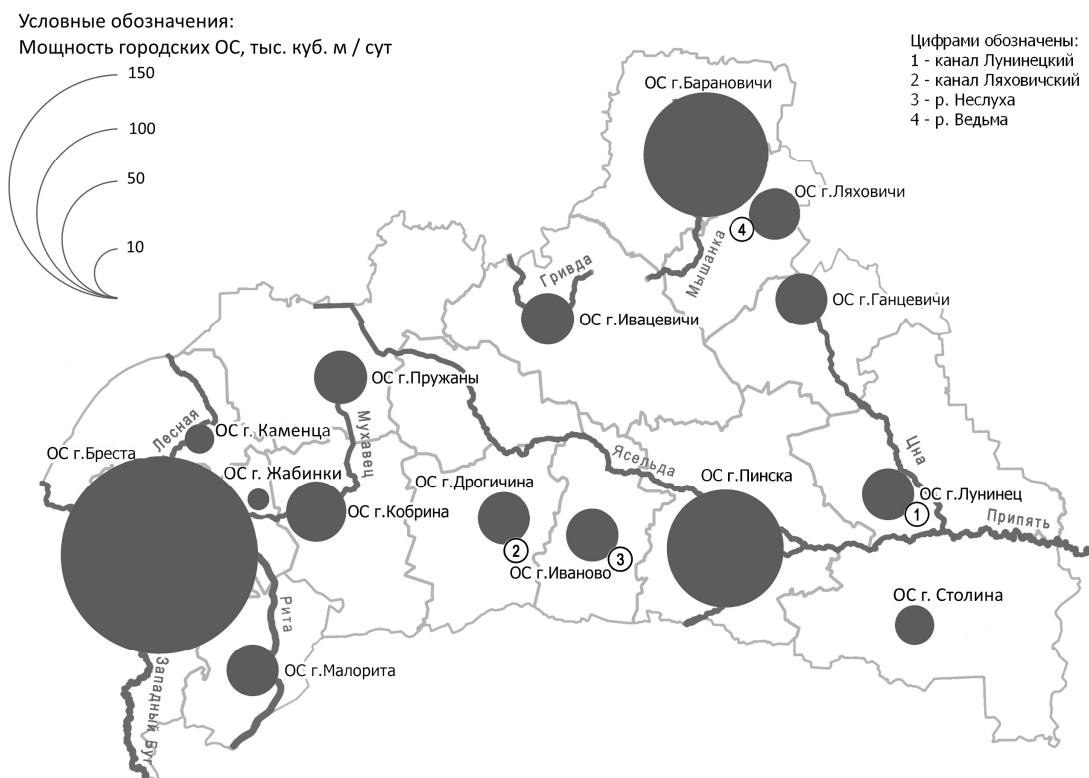


Рис. 1. Объекты исследования – городские очистные сооружения на территории Брестской области

Fig. 1. Objects of research – urban wastewater treatment plants on the territory of Brest region

Вклад городских ОС районных центров Брестской области в загрязнение поверхностных водных объектов бассейнов рек Западного Буга, Немана и Припяти за 2010–2017 гг. оценен на основании сопоставления расчетных среднегодовых данных по объему сбрасываемых нормативно-очищенных сточных вод (млн м³/год) и загрязняющих веществ (т/год) по конкретным ОС к общеобластному сбросу.

При подготовке статьи использованы собранная и обобщенная автором информация об ОС области за 2010–2019 гг., а также данные мониторинга поверхностных вод и локального мониторинга Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (НСМОС) [13], Национального статистического комитета Республики Беларусь (НСК) [14], Государственного водного кадастра Республики Беларусь (ГВК) [15] и лабораторные данные предприятий жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ) и водоканалов о качестве нормативно-очищенных сточных вод на входе и выходе с ОС за 2010–2017 гг.

Часть результатов, представленных в данной статье, касающаяся ОС г. Кобрин, получена при выполнении проекта X18M-122 (ГР 20181602) при поддержке БРФФИ.

Результаты и их обсуждение. В процессе очистки сточных вод на городских ОС осуществляются ее освобождение от взвешенных, минеральных и органических веществ (механическая очистка), растворенных и коллоидных органических веществ (биологическая очистка), патогенной микрофлоры (обеззараживание), а также обезвреживание, уплотнение и утилизация образующегося осадка сточных вод. Для этих целей применяются ОС механической и биологической очистки. Сооружения механической очистки очищают городские сточные воды путем задержания крупных механических примесей и осаждения взвешенных веществ (решетки, песководки, отстойники); в сооружениях биологической очистки происходит разложение (минерализация) органических веществ, содержащихся в сточной воде, при помощи микроорганизмов.

На территории Брестской области городские ОС находятся на балансе предприятий ЖКХ и водоканалов (табл. 1). Типичными сооружениями механической очистки городских сточных вод на ОС Брестской области являются решетки, песководки, первичные отстойники.

Таблица 1. Характеристика городских очистных сооружений, расположенных на территории Брестской области

Table 1. Characteristics of municipal wastewater treatment plants located on the territory of Brest region

ОС	Ввод в эксплуатацию, год(ы)	Мощность ОС, м ³ /сут	Объем нормативно-очищенной сточной воды (2018 г.), м ³ /сут	Водоприемник очищенных сточных вод
ОС г. Бреста	1969, 1981, 1992	135 000	109 000	р. Западный Буг
ОС г. Барановичи	1984	65 500	35 400	р. Мышанка
ОС г. Пинска	1965	50 000	н/д	р. Припять
ОС г. Кобрин	1980	16 000	7000	р. Мухавец
ОС г. Березы	1976	16 000	9500	р. Ясельда
ОС г. Лунинца	1975	5200	3100	Лунинецкий канал → р. Припять
ОС г. Ивацевичи	2012	7500	5300	р. Грибда
ОС г. Пружаны	1985	6000	3000	р. Мухавец
ОС г. Иваново	1988	6565	6000	р. Неслаха
ОС г. Дрогичина	1992	5170	н/д	Ляховичский канал → Днепровско-Бугский канал → р. Пина
ОС г. Ганцевичи	1989	4950	3000	р. Цна
ОС г. Малориты	1989	3300	1000	р. Рита
ОС г. Ляховичи	2005	3000	н/д	р. Ведьма
ОС г. Каменца	2016	1800	1500	р. Лесная
ОС г. Жабинки	1977	864	н/д	р. Мухавец
ОС г. Столина	1973	2600	3600	Закрытый обводной канал → р. Горынь

П р и м е ч а н и е: н/д – нет данных.

При этом возможны две разновидности аэробной биологической очистки в естественных условиях (почвенных) – на полях фильтрации (очистка протекает медленно, необходимы большие территории; возможно загрязнение грунтовых вод; в зимнее время замедляется ввиду прекращения биологических процессов) и в искусственных условиях (в водной среде) – на биофильтрах и в аэротенках (очистка происходит гораздо быстрее, достигается приемлемая очистка сточных вод при помощи микроорганизмов; не зависит от температуры окружающей среды и, соответственно, времени года). Очищенные сточные воды поступают либо непосредственно в поверхностные водные объекты (например, ОС г. Кобринা → р. Мухавец), либо через мелиоративные каналы (например, ОС г. Малориты → мелиоративный канал → р. Рита). Среди сброшенных нормативно-очищенных городских сточных вод 60 % их объема попадает в реки бассейна Балтийского моря (с ОС городов Бреста, Пружан, Каменца (с 2016 г.), Жабинки (с 2020 г.), Барановичей, Кобриной, Ивацевичей, Малориты, Ляховичей) и 40 % – в реки, относящиеся к бассейну Черного моря (с ОС городов Пинска, Березы, Лунинца, Иваново, Дрогичина, Ганцевичей). Реки, принимающие нормативно-очищенные городские сточные воды указанных ОС, являются трансграничными: к бассейну Балтийского моря относятся реки Неман (Беларусь–Литва–Россия) и Западный Буг (Украина–Беларусь–Польша), в бассейне Черного моря расположена р. Припять (Беларусь–Украина).

Большинство ОС области построены в конце прошлого века и выходят из строя в условиях увеличивающихся объемов хозяйственно-бытовых, богатых биогенными элементами вод, и высококонцентрированных, в зависимости от специфики предприятий, производственных сточных вод. С целью уменьшения нагрузки на поверхностные водные объекты, которые являются трансграничными, в рамках реализуемых государственных программ при участии предприятий ЖКХ и международной технической помощи проводятся модернизация и реконструкция ОС определенных населенных пунктов в соответствии с утвержденными планами.

В рамках Программы по водоснабжению и водоотведению «Чистая вода» на 2006–2010 гг. Брестской области выполнены работы по строительству, реконструкции, расширению и интенсификации работы ОС городов Бреста, Березы, Ганцевичей, Ивацевичей, Малориты, Пинска. В 2011–2015 гг. выполнено строительство отдельных элементов и проведена реконструкция эксплуатируемых ОС городов Бреста, Пинска, Дрогичина, Столина, Каменца, Жабинки, Ганцевичей, Пружан, Березы.

Завершаются работы по реконструкции ОС г. Бреста для достижения показателей очистки сточных вод перед сбросом их в трансграничную р. Западный Буг общеевропейских экологических стандартов. К финансированию проекта привлечены средства кредитов и грантов международных банков и финансовых фондов.

До 2016 г. в трех районных центрах Брестской области (Каменце, Жабинке, Столине) для очистки городских сточных вод применяли только поля фильтрации, не обеспечивающие достаточную очистку загрязненной сточной воды в условиях возрастающей нагрузки на ОС (увеличение численности населения городов, введение в эксплуатацию новых промышленных предприятий и т. д.). Для уменьшения антропогенной нагрузки на р. Лесную, являющуюся притоком р. Западный Буг и приемником сточных вод с ОС г. Каменца, в процессе реализации проекта международной технической помощи «Расширение трансграничной системы очистки сточных вод в бассейне р. Западный Буг» в рамках программы трансграничного сотрудничества Польша–Беларусь–Украина на 2007–2013 гг. в г. Каменце были построены новые ОС, предусматривающие полную биологическую очистку сточных вод и современную систему обработки осадка. ОС введены в эксплуатацию в апреле 2016 г., что позволило существенно снизить загрязнение воды в реках Лесной и Западном Буге, что, в свою очередь, отразилось на состоянии р. Вислы и акватории Балтийского моря в целом.

Для снижения негативного воздействия на р. Мухавец, которая кроме нормативно-очищенных сточных вод городов Кобриной и Пружан принимает недостаточно очищенные сточные воды с городских ОС г. Жабинки, в рамках программы трансграничного сотрудничества Польша–Беларусь–Украина на 2014–2020 гг. при реализации проекта международной технической помощи «Чистая река – главный приоритет» начато строительство городских ОС г. Жабинки (планируемый ввод в эксплуатацию – октябрь 2020 г.) В ходе проведения работ по проекту будут построены ОС полной биологической очистки с системой обработки образующегося осадка сточных вод.

В настоящее время существенную угрозу окружающей среде представляют ОС г. Столина, построенные в 1973 г., не соответствующие современным требованиям к очистке сточных вод и количеству городского населения – фактическая мощность ОС составляет около $3600 \text{ м}^3/\text{сут}$ при проектной – $2600 \text{ м}^3/\text{сут}$. Очистка городских сточных вод ведется на полях фильтрации; в настоящее время эксплуатируется 19 переполненных карт полей фильтрации; предприятием решается вопрос об отчуждении сельскохозяйственных земель для проектирования и ввода в эксплуатацию новых карт.

Несмотря на проводимые реконструкцию и модернизацию, нормативно-очищенные сточные воды городских ОС продолжают оставаться источниками прямого воздействия на поверхностные воды.

В их составе сбрасывается широкий спектр загрязняющих веществ, содержание которых контролируется в рамках НСМОС. Среди них преобладающее значение имеют органические вещества по БПК₅, взвешенные вещества, аммоний, фосфаты, сульфаты, хлориды. Пути поступления данных загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты различны и обусловлены как антропогенными, так и природными источниками.

Среди веществ – загрязнителей, сбрасываемых в поверхностные водные объекты с нормативно-очищенными сточными водами городских ОС на территории Брестской области, преобладают хлориды. В природных водах хлориды являются одними из самых распространенных анионов и характерны для сильноминерализованных хлоридных вод. Хлориды хорошо растворимы в воде, обладают наибольшей миграционной способностью среди анионов, слабо выраженной способностью к сорбции взвешенными веществами и потреблением водными организмами. Повышенные содержания хлоридов ухудшают вкусовые качества воды, делают ее малопригодной для питьевого водоснабжения и ограничивают применение для многих технических и хозяйственных целей, а также для орошения сельскохозяйственных угодий. Концентрация хлоридов является одним из критериев загрязненности водоемов коммунальными сточными водами. Наибольшее среднегодовое количество хлоридов за период с 2010 по 2017 г. поступило в составе нормативно-очищенных сточных вод с ОС городов Бреста, Барановичей и Пинска (в порядке убывания), наименьшее – с ОС городов Малориты, Ганцевичей и Дрогичина (в порядке возрастания).

Сульфаты являются одними из важнейших анионов и присутствуют практически во всех поверхностных водах. Сульфат-ионы поступают в водоемы в процессе отмирания организмов, окисления наземных и водных веществ растительного и животного происхождения и с подземным стоком. В водоемы сульфаты выносятся со сточными водами коммунального хозяйства и сельскохозяйственного производства. Наибольшее среднегодовое количество сульфатов за период с 2010 по 2017 г. поступило в составе нормативно-очищенных сточных вод с ОС городов Бреста, Пинска и Барановичей, наименьшее – с ОС городов Ляховичей, Малориты и Ганцевичей.

Наличие в поверхностных водах взвешенных веществ свидетельствует об их загрязненности нерастворимыми примесями, в основном минерального происхождения. Они уменьшают прозрачность воды, влияют на температуру и состав растворенных компонентов поверхностных вод, способствуют заселению дна в зонах с малой скоростью течения, оказывают неблагоприятное воздействие на жизнедеятельность водных организмов. На взвешенных частицах могут сорбироваться различные загрязняющие вещества; оседая на дно, они могут стать источником вторичного загрязнения воды. Среди городских ОС Брестской области наибольшее среднегодовое количество взвешенных веществ за период с 2010 по 2017 г. сброшено в гидросеть в составе нормативно-очищенных сточных вод с ОС города Бреста, Пинска и Березы, наименьшее – с ОС городов Малориты, Дрогичина и Ляховичей.

Органические вещества всегда присутствуют в природных водах, а также попадают в них со сточными водами и дождевым поверхностным стоком. В естественных условиях органические вещества разрушаются бактериями с использованием растворенного в воде кислорода. При попадании в водоем большого количества органических веществ большая часть кислорода используется на их разрушение, лишая кислорода другие организмы. Степень загрязнения воды органическими соединениями определяют как количество кислорода, необходимое для их окисления микроорганизмами в аэробных условиях, т. е. величиной БПК₅. Наибольшее среднегодовое количество органических веществ за период с 2010 по 2017 г. сбрасывалось в составе нормативно-очищенных сточных вод с ОС городов Бреста, Пинска и Березы, наименьшее – с ОС городов Малориты, Дрогичина и Ляховичей.

В природных водах источником аммонийного азота являются продукты разложения и жизнедеятельности различных организмов, они содержатся в водах в небольших количествах. Основными источниками поступления аммония в водные объекты служат сточные воды животноводческих ферм, коммунальные сточные воды, поверхностный сток с сельскохозяйственных полей при применении азотных удобрений, а также сточные воды предприятий пищевой, лесохимической и химической промышленности [16]. Концентрация аммония выше 1 мг/дм³ является токсичной для рыб, причем с повышением pH среди его токсичность увеличивается. Продуктом распада аммония является аммиак. Попадая в организм рыбы через жабры, он оказывает токсическое действие, которое заключается в нарушении способности гемоглобина связываться с кислородом крови, в результате чего рыба погибает. Наибольшее среднегодовое количество ионов аммония за период с 2010 по 2017 г. сбрасывалось в поверхностные водные объекты в составе нормативно-очищенных сточных вод с ОС городов Бреста, Пинска и Барановичей, наименьшее – с ОС городов Малориты, Иваново и Ганцевичей.

Присутствие в поверхностных водах фосфат-ионов также незначительно. Их поступление в поверхностные водные объекты обусловленобросом коммунальных сточных вод, поверхностного стока с сельскохозяйственных полей при применении азотных удобрений, а также сточных вод промышленных предприятий. Повышение содержания минерального фосфора приводит к эвтрофика-

кации водоемов и токсическому действию на гидробионты [4, 8]. Наибольшее среднегодовое количество фосфатов за период с 2010 по 2017 г. сбрасывалось в составе нормативно-очищенных сточных вод с ОС городов Бреста, Пинска и Барановичей, наименьшее – с ОС городов Малориты, Ляховичей и Ганцевичей.

На территории Беларуси выпуски нормативно-очищенных сточных вод как источники вредного воздействия по состоянию на 2017 г. распределены по бассейнам рек следующим образом: р. Неман – 52 выпуска (26 %), р. Припять – 23 (11 %), р. Днепр – 73 (37 %), р. Западный Буг – 6 (3 %), р. Западная Двина – 45 выпусков (23 %). ОС Брестской области сбрасывают нормативно-очищенные сточные воды в реки бассейнов Западного Буга, Припяти и Немана.

В бассейне р. **Неман** расположены ОС городов Барановичей, Ивацевичей и Ляховичей, оказывающие непосредственное влияние на качество воды трех поверхностных водных объектов – рек Мышанки, Гривды и Ведьмы соответственно. Наибольший объем сброса сточных вод среди указанных ОС осуществляется в р. Мышанку с ОС г. Барановичи.

Данные локального мониторинга свидетельствуют об отсутствии превышений ПДК химических веществ на выпусках сточных вод. ИВ ОС г. Барановичи на р. Мышанку по азоту общему, фосфору общему, фосфору фосфатному составляет не более 1,2, что свидетельствует об умеренном влиянии выпуска сточных вод на качество речных вод.

Проанализированные данные локального мониторинга ОС г. Ивацевичи также свидетельствуют об их влиянии на качество поверхностных вод: наибольшее значение ИВ для р. Гривды отмечено по нефтепродуктам (1,3). Влияние выпуска сточных вод ОС г. Ляховичи на качество поверхностных вод р. Ведьмы незначительное – наибольшим ИВ характеризуется азот аммонийный (1,2).

В 2017 г. среднегодовое значение БПК₅ в речной воде Немана составляло 2,13 мгО/дм³ (по сравнению с 2010 г. концентрация органических веществ уменьшилась на 10,5 %), концентрация аммоний-ионов – 0,23 мгN/дм³ (уменьшилась по сравнению с 2011 г. на 46,5 %), фосфат-ионов – 0,04 мгР/дм³ (по сравнению с 2010 г. концентрация фосфатов уменьшилась на 20,0 %); нитрат-ионов – 5,92 мг/дм³ (по сравнению с 2010 г. концентрация нитратов уменьшилась на 8,4 %).

В табл. 2 приведен вклад городских ОС Брестской области в загрязнение поверхностных водных объектов бассейна р. Неман. Анализ таблицы свидетельствует о том, что приоритетными загрязняющими веществами, поступающими в воды бассейна р. Неман с ОС Брестской области в составе нормативно-очищенных сточных вод, являются фосфаты, хлориды и аммонийный азот. Городские ОС Брестской области привносят в поверхностные воды бассейна р. Неман 42,2 % (18,52 т), 13,3 % (1587,87 т) и 8,5 % (108,3 т) данных загрязняющих веществ соответственно.

Таблица 2. Среднегодовые объемы сброса сточных вод (млн м³/год) и количество загрязняющих веществ (т/год), поступающих в поверхностные водные объекты бассейна р. Неман с городских ОС Брестской области, 2010–2017 гг.

Table 2. Average annual volumes of wastewater discharge (million m³/year) and the amount of pollutants (t/year) entering the surface water bodies of the Neman river basin from urban wastewater treatment plants of Brest region, 2010–2017

ОС	Объем сброса СВ	Фосфор фосфатов	Азот аммония	Взвешенные вещества	Органические вещества по БПК ₅	Хлориды	Сульфаты
ОС г. Ивацевичи	1,59	2,63	10,67	25,22	22,36	124,11	68,09
ОС г. Барановичи	11,98	15,21	89,21	96,64	93,98	1400,35	375,92
ОС г. Ляховичи	0,55	0,68	8,42	11,19	8,35	63,41	22,74
Всего по ОС бассейна р. Неман (по данным ГВК)	112,47	43,90	1279,40	2172,60	1683,80	11962,20	8715,00
Вклад городских ОС Брестской области, %	12,60	42,20	8,50	6,10	7,40	13,30	5,40

В бассейне р. **Западный Буг** размещены ОС городов Бреста, Пружан, Кобринса, Каменца. Водоприемниками нормативно-очищенных городских сточных вод являются реки Западный Буг, Мухавец, Лесная, Рита; при этом в реки Лесную и Риту сброс сточных вод осуществляется через мелиоративные каналы. Наибольший объем сточных вод поступает в р. Западный Буг с ОС г. Бреста. На выпуске с ОС в течение 2017 г. концентрации загрязняющих веществ находились на уровне установленных нормативов ПДК. Согласно рассчитанному ИВ, сточные воды ОС г. Бреста оказывают сильное и уме-

ренное влияние на качество воды р. Западный Буг по нефтепродуктам и фосфору общему (ИВ составляет 1,5 и 1,4 соответственно). В местах выпусков сточных вод с ОС г. Малорита в р. Рита ИВ составляет 1,3 по БПК₅, хлоридам, сульфатам, азоту аммонийному и фосфору фосфатному, что свидетельствует об умеренном воздействии на качество речной воды. Сточные воды с ОС городов Пружан и Каменца по данным локального мониторинга предприятий в 2017 г. не оказывали существенно го влияния на водные объекты бассейна р. Западный Буг.

В 2017 г. среднегодовое значение БПК₅ в воде р. Западный Буг составляло 3,13 мгО/дм³ (по сравнению с 2010 г. концентрация органических веществ увеличилась на 9,6 %; Западный Буг является одной из самых загрязненных рек по данному показателю), концентрация аммонийного азота – 0,41 мгN/дм³ (увеличилась по сравнению с 2010 г. на 14,6 %; по данному показателю Западный Буг является одной из наиболее загрязненных рек), фосфат-ионов – 0,12 мгР/дм³ (концентрация фосфат-ионов постепенно уменьшается с 2011 г., и в 2017 г. по сравнению с 2016 г. она уменьшилась на 36,8 %) и нитратов – 5,53 мг/дм³ (по сравнению с 2010 г. концентрация нитратов увеличилась на 13,6 %).

Анализ табл. 3 свидетельствует о том, что загрязняющие вещества, поступающие в поверхностные воды бассейна р. Западный Буг на 68,8–96,9 %, являются следствием сброса нормативно очищенных сточных вод с городских ОС.

Таблица 3. Среднегодовые объемы сброса сточных вод (млн м³/год) и количество загрязняющих веществ (т/год), поступающих в поверхностные водные объекты бассейна р. Западный Буг с городских очистных сооружений Брестской области, 2010–2017 гг. (без учета сброса загрязняющих веществ с очистных сооружений г. Каменца)

Table 3. The average annual volumes of wastewater discharge (million m³/year) and the amount of pollutants (t/year) entering the surface water bodies of the basin of the Western Bug river from the urban wastewater treatment plants of Brest region, 2010–2017 (excluding the discharge of pollutants from wastewater treatment plants of Kamyanets)

ОС	Объем сброса СВ	Фосфор фосфатов	Азот аммония	Взвешенные вещества	Органические вещества по БПК ₅	Хлориды	Сульфаты
ОС г. Кобрин	2,62	8,66	32,07	32,91	24,19	380,23	72,63
ОС г. Малориты	0,37	0,34	4,18	6,21	4,42	25,7	24,41
ОС г. Бреста	29,04	122,04	666,09	659,79	622,79	3666,99	1063,29
ОС г. Пружаны	1,74	1,84	12,54	18,31	15,70	89,73	52,78
Всего по ОС бассейна р. Западный Буг (по данным ГВК)	35,18	138,16	768,27	1042,95	702,20	4296,81	1336,48
Вклад городских ОС Брестской области, %	96,00	96,20	93,10	68,80	95,00	96,90	90,80

В бассейне р. Припяти на территории Брестской области приемниками сточных вод с городских ОС являются сама р. Припять (ОС г. Пинска), р. Ясельда (ОС г. Березы), канал Лунинецкий (ОС г. Лунинца), р. Неслуха (ОС г. Иваново), канал Ляховичский (ОС г. Дрогичина) и р. Цна (ОС г. Ганцевичи). Наибольший объем сточных вод поступает непосредственно в р. Припять с ОС г. Пинска. Согласно ИВ ОС г. Пинска оказывают влияние на содержание химических веществ в р. Припяти – наибольшим ИВ характеризовалась медь (ИВ = 1,3), что свидетельствует об умеренном воздействии ОС на качество речной воды. Сточные воды ОС г. Лунинца оказывают умеренное и сильное влияние на качество воды Лунинецкого канала по взвешенным веществам и фосфору фосфатному (ИВ = 1,3 и 1,5 соответственно) и очень сильное влияние по азоту аммонийному (ИВ = 5,6). Сточные воды ОС г. Березы, согласно значению ИВ, оказывают умеренное влияние на качество воды р. Ясельды только по фосфору общему (ИВ = 1,6). Сточные воды ОС г. Иваново оказывают умеренное влияние на качество воды р. Неслуха – ИВ по БПК₅ составляет 1,3, по нефтепродуктам и взвешенным веществам – 1,4, сильное влияние по азоту общему – 1,7, очень сильное влияние по фосфору фосфатному и фосфору общему – 3,0 и 4,3 соответственно. Значения ИВ ОС г. Ганцевичи на р. Цну не превышают 1,1 по всем проанализированным показателям, что свидетельствует о незначительном влиянии на реку ОС города.

В 2017 г. среднегодовое значение БПК₅ в речной воде Припяти составляло 2,56 мгО/дм³ (концентрация органических веществ увеличилась на 3,9 % по сравнению с 2010 г.), концентрация аммоний-ионов – 0,26 мгN/дм³ (с 2010 г. концентрация аммоний-ионов постепенно уменьшилась на 48,0 % по сравнению с 2017 г.), фосфатов – 0,06 мгР/дм³ (по сравнению с 2010 г. их концентрация уменьшилась на 14,3 %; по данному показателю р. Припять является одной из наиболее чистых рек) и нитрат-ионов – 2,97 мг/дм³ (по сравнению с 2010 г. концентрация нитратов увеличилась на 40,4 %).

В табл. 4 показан вклад городских ОС районных центров Брестской области в загрязнение поверхностных водных объектов бассейна р. Припяти. Приоритетными загрязняющими веществами, поступающими в поверхностные воды бассейна р. Припяти в составе нормативно-очищенных сточных вод с ОС Брестской области, являются фосфор фосфатный, азот аммонийный и органические вещества по БПК₅ – ОС Брестской области привносят 57,5 % (72,69 т), 58,2 % (346,77 т) и 22,8 % (335,09 т) данных загрязняющих веществ соответственно.

Таблица 4. Среднегодовые объемы сброса сточных вод (млн м³/год) и количество загрязняющих веществ (т/год), поступающих в поверхностные водные объекты бассейна р. Припяти с городских очистных сооружений Брестской области, 2010–2017 гг.

Table 4. Average annual volumes of wastewater discharge (million m³/year) and the amount of pollutants (t/year) entering the surface water bodies of the Pripyat river basin from urban wastewater treatment plants of Brest region, 2010–2017

ОС	Объем сброса СВ	Фосфор фосфатов	Азот аммония	Взвешенные вещества	Органические вещества по БПК ₅	Хлориды	Сульфаты
ОС г. Березы	3,12	10,99	36,92	125,06	139,9	861,72	131,87
ОС г. Лунинца	1,93	6,77	25,39	48,78	36,55	223,55	76,40
ОС г. Ганцевичи	1,09	1,43	6,03	15,50	15,28	46,86	26,27
ОС г. Иваново	1,24	5,66	5,51	15,66	12,48	93,77	45,28
ОС г. Пинска	10,51	44,80	263,22	120,46	126,40	1278,83	443,59
ОС г. Дрогичина	0,67	3,04	9,70	7,54	4,48	55,79	46,77
Всего по ОС бассейна р. Припяти (по данным ГВК)	59,81	126,36	596,21	2824,27	1467,14	12227,30	5961,02
Вклад городских ОС Брестской области, %	31,00	57,50	58,20	11,80	22,80	20,90	12,90

На рис. 2 изображена динамика вклада сброшенных взвешенных и органических веществ по БПК₅ с ОС Брестской области и динамика суммарного сброса с ОС белорусской части бассейнов рек Западного Буга, Немана и Припяти за 2010–2017 гг. Среднегодовой суммарный сброс взвешенных веществ в белорусской части бассейнов рек Западного Буга, Немана и Припяти за 2010–2017 гг. составил 7,98 тыс. т; при этом среднегодовой сброс взвешенных веществ с ОС Брестской области – 1,18 тыс. т (14,8 %). Среднегодовой суммарный сброс органических веществ по БПК₅ в бассейны рек Западного Буга, Немана и Припяти за 2010–2017 гг. составил 5,78 тыс. т; при этом среднегодовой сброс органических веществ по БПК₅ с ОС Брестской области достиг 1,13 тыс. т (19,6 %).

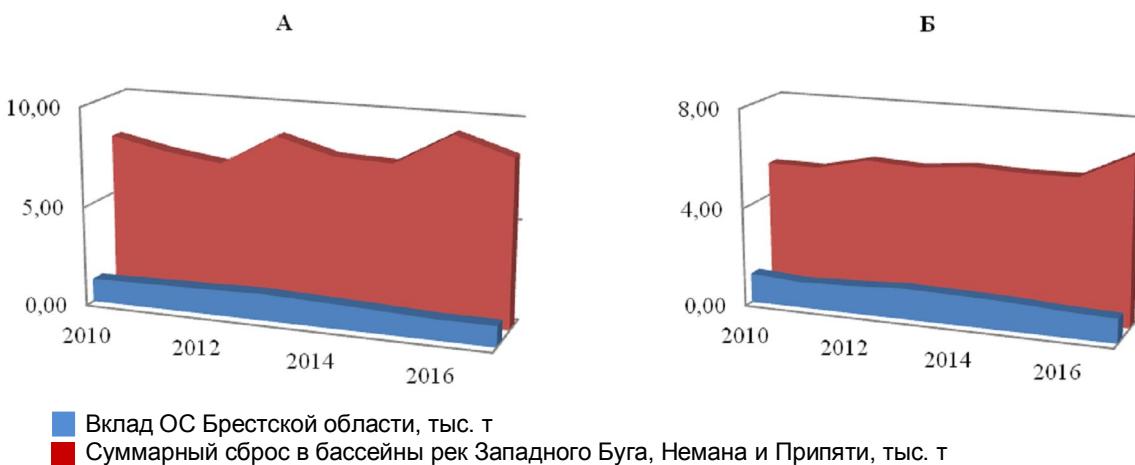


Рис. 2. Динамика вклада сброшенных взвешенных (А) и органических веществ по БПК₅ (Б) с очистных сооружений Брестской области в суммарный сброс данных веществ с белорусской части бассейнов рек Западного Буга, Немана и Припяти, 2010–2017 гг.

Fig. 2. Dynamic soft he contribution of discharged suspended (A) and organic substances according to BOK₅ (Б) respectively of wastewater treatment plants of Brest region and the total discharge from wastewater treatment plants into the basins of the rivers the Western Bug, the Neman and the Pripyat, 2010–2017

Наибольший вклад в загрязнение рассматриваемых бассейнов рек вносят городские ОС Брестской области по фосфору фосфатов – 72,6 %: в белорусской части бассейнов рек Западного Буга, Немана и Припяти сбрасывается со сточными водами 308,4 т/год фосфора фосфатов, с ОС Брестской области – 224,1 т/год.

Заключение. Несмотря на большой объем выполненных работ по модернизации и реконструкции городских ОС, последние остаются значительными источниками поступления загрязняющих веществ в поверхностные воды. Расчеты индексов воздействия городских ОС Брестской области на воды рек водоприемников сточных вод показал, что наиболее высокие уровни воздействия на поверхностные воды имеют место в городах Лунинце (ИВ на воды Лунинецкого канала составил 5,6 по азоту аммонийному и 1,5 по фосфатам) и Иваново (ИВ на воды р. Неслухи по фосфору общему – 4,3, фосфатам – 3,0, азоту общему – 1,7), что связано, с одной стороны, с недостаточной эффективностью очистки сточных вод, а с другой – с малыми расходами водоприемников сточных вод. Наименьшее воздействие на поверхностные воды оказывают ОС Каменца, Ганцевичей, Барановичей, Ляховичей, Пружан, которые имеют меньший срок амортизации или имеют значительное превышение мощности по сравнению с объемами поступающих сточных вод.

Среди загрязняющих веществ, сбрасываемых в поверхностные водные объекты с нормативно-очищенными сточными водами, преобладают хлориды, сульфаты, взвешенные и органические вещества (по БПК₅), а также аммоний и фосфаты. Наибольшее влияние городские ОС оказывают на поверхностные водные объекты бассейна р. Западный Буг – вклад ОС в загрязнение рек бассейна взвешенными и органическими веществами (по БПК₅), хлоридами, сульфатами, аммонием и фосфатами колеблется в пределах 68,8–96,9 %. Наименьшее влияние ОС Брестской области оказывают на поверхностных водных объектах бассейнов рек Припяти (вклад ОС составляет от 11,8 до 58,2 %) и Немана (вклад ОС составляет от 5,4 до 42,2 %).

Список использованных источников

1. Волчек, А. А. Водные ресурсы Брестской области / А. А. Волчек, М. Ю. Калинин. – Минск : БГУ, 2002. – 440 с.
2. Волчек, А. А. Мелиоративное освоение бассейна р. Ясельда / А. А. Волчек, Ю. В. Стефаненко // Сборник материалов Междунар. науч.-практ. конф. – Брест, 2011. – Т. 1, вып. 1. – С. 21–24.
3. Кадацкая, О. В. Современное состояние и использование ресурсов поверхностных вод Припятского Полесья / О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, Е. П. Овчарова, А. М. Пеньковская // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2011. – Вып. 19. – С. 37–47.
4. Кадацкая, О. В. Содержание минерального фосфора в речных водах бассейна Днепра: пространственно-временной анализ / О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, В. В. Селицкая, И. Е. Русая // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2009. – Вып. 16. – С. 49–56.
5. Кадацкая, О. В. Гидроэкологическая оценка поверхностных водных ресурсов Припятского Полесья / О. В. Кадацкая, Е. П. Овчарова, Е. В. Санец // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2015. – Вып. 27. – С. 17–23.
6. Кадацкая, О. В. Оценка водных ресурсов Брестской области с использованием экологических показателей / О. В. Кадацкая, Е. В. Санец, Е. П. Овчарова // Прыводнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспективы развіцця : зб. навук. прац VIII Міжнар. навук. канф. «Прыводнае асяроддзе Палесся і навукова-практичныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання», Брэст, 12–14 вер. 2018 г. / Нац. акад. навук Беларусі, Палескі аграрна-экалагічны інстытут ; рэдкал. М. В. Міхальчук (гал. рэд.) [і інш.]. – Брэст : Альтэрнатива, 2018. – Вып. 11. – С. 91–93.
7. Волчек, А. А. Мухавец: энциклопедия малой реки / А. А. Волчек [и др.]. – Брест : Академия, 2006. – 344 с.
8. Овчарова, Е. П. Поверхностные воды Припятского Полесья: гидрохимические особенности / Е. П. Овчарова, О. В. Кадацкая, Е. В. Санец // Проблемы природопользования: итоги и перспективы : материалы Междунар. науч. конф. (к 80-летию Института природопользования), Минск, 21–23 ноября 2012 г. / редкол.: А. К. Карабанов (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2012. – С. 183–187.
9. Волчек, А. А. Оценка качества поверхностных вод Белорусского Полесья на примере реки Ясельда / А. А. Волчек, М. А. Таратенкова, А. А. Шляхов // Прыводнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспективы развіцця : зб. навук. прац / Нац. акад. навук Беларусі, Палескі аграрна-экалагічны інстытут. – Брест, 2018. – Вып. 11. – С. 33–35.
10. Волчек, Ан. А. Прогнозная оценка качества воды рек Беларуси / Ан. А. Волчек // Вестник Брестского государственного технического университета : науч.-теорет. журнал. – 2018. – № 2. – С. 17–23.
11. Абрамова, И. В. Ясельда / И. В. Абрамова [и др.] ; под общ. ред. А. А. Волчека, И. И. Кирвеля, Н. В. Михальчuka. – Минск : Беларуская навука, 2017. – (Реки Полесья). – 416 с.
12. Яромский, В. Н. О развитии системы водоотведения г. Бреста / В. Н. Яромский // Прыводнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспективы развіцця : зб. навук. прац / Палескі аграрна-экалагічны інстытут Нацыянальной акадэміі навук Беларусі. – Брест, 2018. – Вып. 11. – С. 116–117.
13. Главный информационно-аналитический центр Национальной системы мониторинга окружающей среды

- Республики Беларусь (ГИАЦ НСМОС): локальный мониторинг [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.nsmos.by/content/182.html>. – Дата доступа : 10.07.2019.
14. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь : стат. сб. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.belstat.gov.by/upload/iblock/966/96612b440315a66a33f44632486cc959.pdf>. – Дата доступа : 23.08.2019.
 15. Государственный водный кадастр: водные ресурсы, их использование и качество вод. – Минск, 2018.
 16. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер и расчеты основных характеристик их режима / под ред. З. И. Мироненко. – Л. : Гидрометеоиздат, 1971. – 700 с.

References

1. Volchek A. A., Kalinin M. Yu. *Vodnye resursy Brestskoj oblasti* [Water resources of Brest region]. Minsk, 2002, 440 p. (in Russian)
2. Volchek A. A., Stefanenko Yu. V. *Meliorativnoe osvoenie bassejna reki Yasel'da* [Reclamation development of the Yaselda river basin]. Brest, 2011, vol. 1, no. 1, pp. 21–24. (in Russian)
3. Kadackaya O. V., Sanec E. V., Ovcharova E. P., Pen'kovskaya A. M. *Sovremennoe sostoyanie i ispol'zovanie resursov poverhnostnyh vod Pripyatskogo Poles'ya* [Current state and use of surface water resources of Pripyat Polesie]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*. Minsk, 2011, issue 19, pp. 37–47. (in Russian)
4. Kadackaya O. V., Sanec E.V., Selickaya V.V., Rusaya I.E. *Soderzhanie mineral'nogo fosfora v rechnyh vodah bassejna Dnepra: prostrastvenno-vremennoj analiz* [Mineral phosphorus content in river waters of the Dnieper basin: spatial-temporal analysis]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*. Minsk, 2009, issue 16, pp. 49–56. (in Russian)
5. Kadackaya O. V., Sanec E. V., Ovcharova E. P. *Sovremennoe sostoyanie i ispol'zovanie resursov poverhnostnyh vod Pripyatskogo Poles'ya* [Hydroecological assessment of surface water resources of Pripyat Polesie]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*. Minsk, 2015, vol. 27, pp. 17–23. (in Russian)
6. Kadackaya O. V., Sanec E. V., Ovcharova E. P. *Ocenka vodnyh resursov Brestskoj oblasti s ispol'zovaniem ekologicheskikh pokazatelej* [Assessment of water resources of Brest region using environmental indicators]. *Pryrodnae asyaroddze Palessya: asablivasci i perspektivny razviciyya = Natural environment of Polesie: features and prospects of development*. Brest, 2018, vol. 11, pp. 91–93. (in Russian)
7. Volchek A. A. [et al.]. *Muhavec: enciklopediya maloj reki* [Mukhavets: encyclopedia of the little river]. Brest, 2006, 344 p. (in Russian)
8. Ovcharova E. P., Kadackaya O. V., Sanec E. V. *Poverhnostnye vody Pripyatskogo Poles'ya: qidrohimicheskie oso-bennosti* [Surface waters of Pripyat Polesie: hydrochemical features]. *Materialy mezdunarodnoj nauchnoj konferencii Problemy prirodopol'zovaniya: itogi i perspektivy* [Proc. of the Int. Sci. Conf. Problems of nature management: results and prospects]. Minsk, 2012, pp. 183–187. (in Russian)
9. Volchek A. A., Taratenkova M. A., Shlyahov A. A. *Ocenka kachestva poverhnostnyh vod Belorusskogo Poles'ya na primere reki Yasel'da* [Assessment of surface water quality of Belarusian Polesie on the example of the Yaselda river]. *Pryrodnae asyaroddze Palessya: asablivasci i perspektivny razviciyya = Natural environment of Polesie: features and prospects of development*, Brest, 2018, vol. 11, pp. 33–35. (in Russian)
10. Volchek An. A. *Prognoznaya ocenka kachestva vody rek Belarusi* [Predictive assessment of water quality of rivers of Belarus]. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta : nauchno-teoreticheskij zhurnal = Vestnik of Brest state technical University : scientific-theoretical journal*, 2018, vol. 2, pp. 17–23. (in Russian)
11. Abramova I. V., Volchek A. A., Kirvel' I. I., Mihal'chuk N. V. *Yasel'da* [Yaselda]. Minsk, 2017, 416 p. (in Russian)
12. Yaromskij V. N. *O razvitiu sistemy vodootvedeniya goroda Bresta* [About development of system of water disposal of the city of Brest]. *Pryrodnae asyaroddze Palessya: asablivasci i perspektivny razviciyya = Natural environment of Polesie: features and prospects of development*, Brest, 2018, vol. 11, pp. 116–117. (in Russian)
13. *Glavnij informacionno-analiticheskij centr Nacional'noj sistemy monitoringa okruzhayushchej sredy Respubliki Belarus': lokal'nyj monitoring* [Main information and analytical center of the National environmental monitoring system of the Republic of Belarus: local monitoring]. Available at: <http://www.nsmos.by/content/182.html> (Accessed 10 July 2019). (in Russian)
14. *Ohrana okruzhayushchej sredy v Respublike Belarus'* : *statisticheskij sbornik* [Environmental protection in the Republic of Belarus : statistical compendium]. Available at: <http://www.belstat.gov.by/upload/iblock/966/96612b440315a66a33f44632486cc959.pdf> (Accessed 23 August 2019). (in Russian)
15. *Gosudarstvennyj vodnyj kadastr: Vodnye resursy, ih ispol'zovanie i kachestvo vod* [State water cadaster: Water resources, their use and water quality]. Minsk, 2018. (in Russian)
16. *Resursy poverhnostnyh vod SSSR. Opisanie rek i ozер i raschety osnovnyh harakteristik ih rezhima* [Surface water resources of the USSR. Description of rivers and lakes and calculations of the main characteristics of their regime]. Ed. Z. I. Mironenko. Leningrad, 1971, 700 p. (in Russian)

Информация об авторе

Басалай Екатерина Николаевна – мл. науч. сотрудник, Полесский аграрно-экологический ин-т НАН Беларусь (ул. Московская, 204/1-1, 224020, г. Брест, Республика Беларусь). E-mail: basalaiekaterina@yandex.ru

Information about the author

Ekataterina 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 504.05/.06:711.4

Поступила в редакцию 29.10.2019
Received 29.10.2019

ПРОГНОЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА УЧАСТКЕ СКЛАДИРОВАНИЯ ОСАДКОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД г. МИНСКА

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

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. На примере внутрихозяйственного карьера «Козлы» проведена оценка возможности использования выработанного карьерного пространства для складирования донных отложений пруда-регулятора по ул. Инженерной в г. Минске с учетом гидрогеологических особенностей территории.

По результатам решения прогнозных задач оценено возможное влияние складирования донных отложений на подземные воды и источники питьевого водоснабжения в районе рекультивируемого карьера.

Ключевые слова: карьер; донные отложения пруда-регулятора; прогноз миграции; загрязнение; подземные воды; водозабор; поверхностные сточные воды.

Для цитирования. Гапанович Е. В., Савич-Шемет О. Г. Анцух Ю. П. Прогноз загрязнения подземных вод на участке складирования осадков поверхностных сточных вод г. Минска // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 96–107.

THE FORECAST OF GROUND WATERS POLLUTION ON THE AREA OF THE STORAGE OF THE SEDIMENTS OF THE SEDIMENTAL SEWAGE OF MINSK CITY

Е. В. Gapanovich, O. G. Savich-Shemet, Yu. P. Antsukh

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

Abstract. On the example of inner agricultural carrier 'Kozly' the estimation of the ability of the use of mined quarry space for the storage of the bottom sediments of the pond-regulator on Enginernaya street in Minsk, taking into account the hydrogeological features of the territory has been carried out.

According to the results of forecast tasks the possible influence of the storage of bottom sediments on underground waters and the sources of drinking water supply in the region of the recultivated carrier.

Key words: carrier; bottom sediments of pound-regulator; migration forecast; pollution; underground waters; water intake; surface sewage waters.

For citation. Gapanovich E. V., Savich-Shemet O. G., Antsukh Yu. P. The forecast of ground waters pollution on the area of the storage of the sediments of the sedimental sewage of Minsk city. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 96–107.

Введение. Функционирование городских очистных сооружений поверхностного стока в условиях интенсивного расширения городских территорий, увеличения транспортной нагрузки, отсутствия эффективных технологий содержания улично-дорожной сети, препятствующих концентрированию и поступлению загрязняющих веществ в составе поверхностного стока, сопровождается образованием отходов, в виде осадка сооружений механической очистки (донных отложений). Значительные объемы накопления данного вида отходов требуют поиска эффективных, экологобезопасных способов их складирования.

Наряду с этим широкое развитие в республике жилищно-гражданского строительства обусловило образование большого количества выработанных карьеров по добыче нерудных полезных ископаемых, которые должны быть обязательно рекультивированы.

В связи с этим использование осадков очистных сооружений дождевого стока для рекультивации карьерного пространства с минимизацией экологических последствий является актуальной задачей.

Существующие технологии рекультивации отработанных карьеров, применяемые в республике далеко не во всех случаях учитывают природные условия в местах расположения карьеров и не обеспечивают выбор научно обоснованных направлений и способов их использования и рекультивации.

Представляло интерес оценить возможные риски складирования донных отложений пруда-регулятора, функционирующего в системе дождевой канализации г. Минска, с целью рекультивации

отработанного месторождения (карьера) песка и песчано-гравийной смеси «Козлы» с учетом гидро-геологических особенностей территории.

Общие сведения о территории исследований. С целью определения возможности складирования донных отложений в выработанном карьерном пространстве применительно к территории карьера «Козлы» выполнено исследование геоморфологических, геолого-гидрогеологических особенностей территории, с учетом наличия потенциально уязвимых объектов – водозабор подземных вод «Вицковщина».

Отработанное месторождение песка (карьер) «Козлы» находится в Дзержинском районе в 350 м к северу от д. Басмановка и 550 м к юго-востоку от д. Козлы в междуречье рек Жесть и Птич (рис. 1).

Поверхностные водотоки удалены от карьера на расстоянии 3,5 км (р. Жесть) и 5,5 км (р. Птич). На расстоянии 3,5 км к северо-западу от выработанного карьерного пространства расположен водозабор подземных вод «Вицковщина», используемый для питьевого водоснабжения г. Минска.

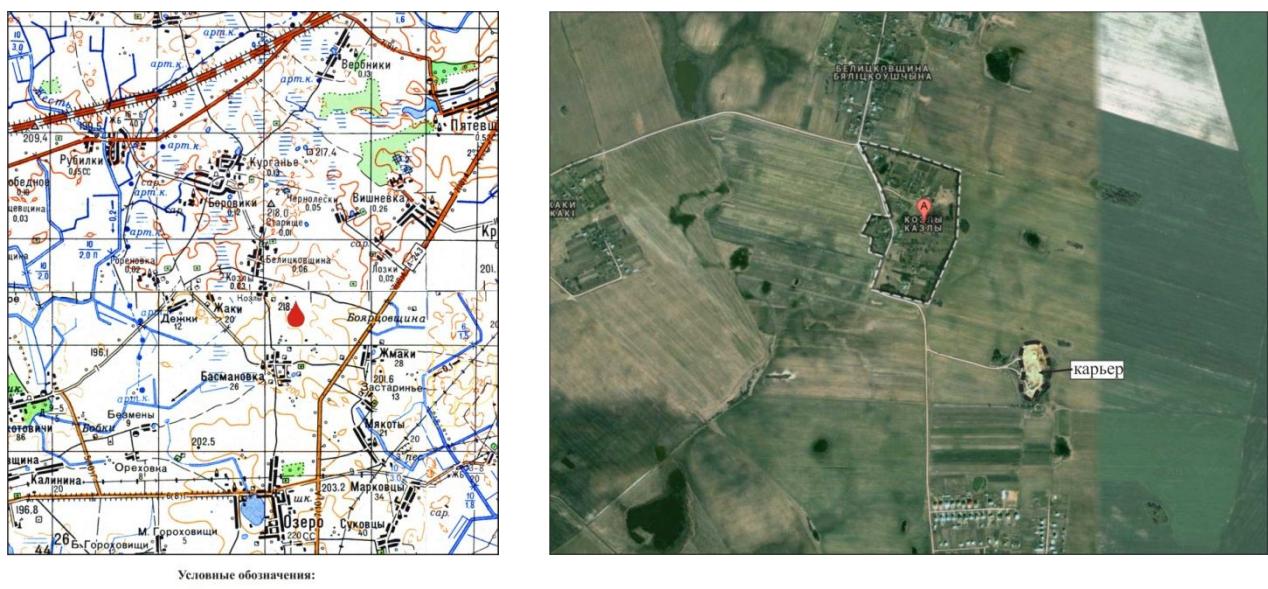


Рис. 1. Обзорная схема территории исследований

Fig. 1. Overview of the study area

Геоморфологические особенности территории исследований

В геоморфологическом отношении территория исследований приурочена к крайней южной части Минской возвышенности и находится на стыке с Березинской равниной [1]. Рельеф сформирован мощными краевыми ледниками образованиями сожского возраста. Преобладает грядово-холмистый, грядово-увалистый рельеф с расположенным вершинами и глубоким расчленением за счет врезания р. Птич и овражно-балочных систем. В районе исследований рельеф приобретает платообразный характер, снижаются абсолютные отметки и уменьшается горизонтальная и вертикальная расчлененность. Поймы долин рек часто заболочены и имеют ширину не более 1 км. Развита мелиоративная сеть, некоторые водотоки имеют канализированные русла.

Карьер находится на водораздельном пространстве в междуречье рек Птич и Жесть. Территория не осложнена тальвегами высокой концентрации поверхностного стока, в связи с чем рельеф пологий с незначительным понижением в южном направлении. Абсолютные отметки земной поверхности изменяются в пределах от 219,0 до 222,59 м (рис. 2).

Геолого-гидрогеологические особенности территории исследований

Исходя из целей работы рассмотрено геологическое строение и гидрогеологические условия верхней части разреза (четвертичные отложения), испытывающей наибольшую антропогенную нагрузку. Геологическое строение и гидрогеологические условия приведены по материалам работ [3–5].

Геологическое строение. Четвертичная система (Q). Четвертичные отложения сплошным чехлом покрывают территорию исследований (рис. 3, 4). В составе четвертичной системы на исследуемой территории выделены нижнее, среднее и верхнее звенья плейстоцена и современное звено голоцен. Мощность толщи четвертичных отложений достигает 146,0 м и более.

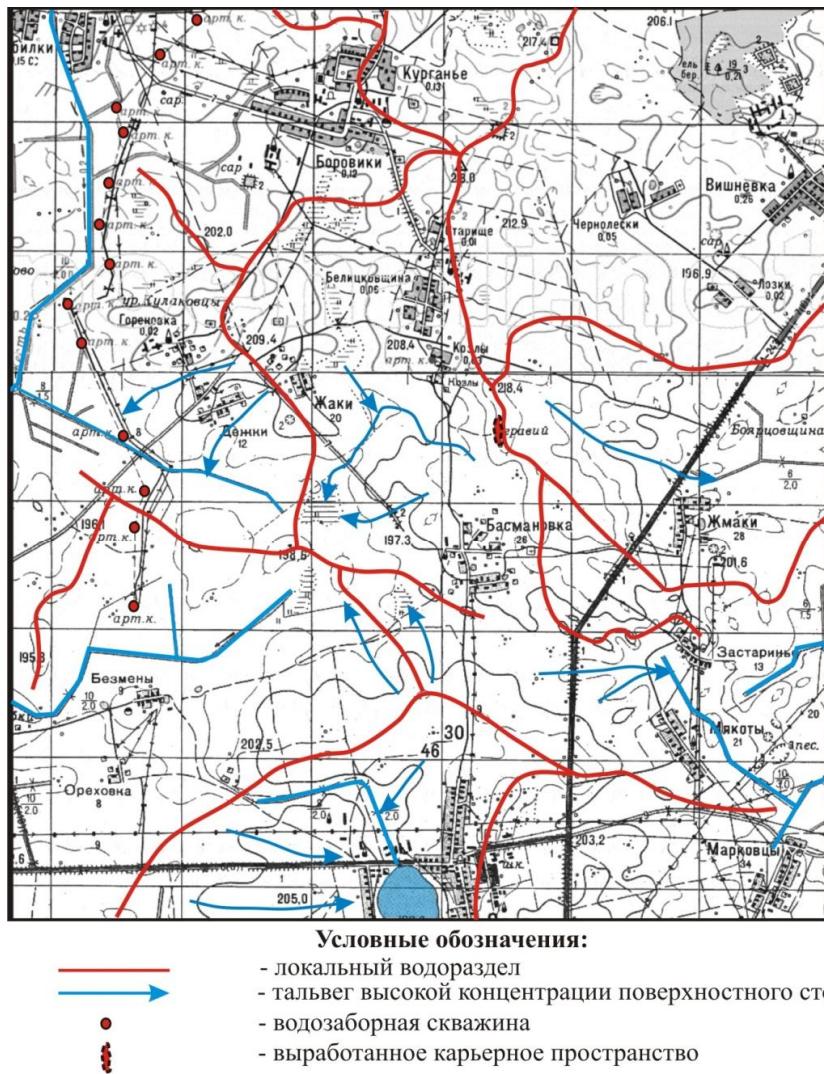


Рис. 2. Схема локальных водоразделов

Fig. 2. The scheme of local watershed

Березинский горизонт. Моренные отложения березинского горизонта (*glbr*) залегают на глубине 88,0–121,4 м. Вскрытая мощность отложений составляет 4,8–38,9 м. Представлены отложения супесями, суглинками и глинами валунными.

Березинско-днепровский горизонт. Водноледниковые отложения березинско-днепровского горизонта (*f,glI-II*) залегают на глубине 92,9–107,7 м. Мощность отложений составляет порядка 6,4–29,0 м. Представлены отложения песками разнозернистыми.

Днепровский горизонт. Моренные отложения днепровского горизонта (*gII/d*) залегают на глубине 40,0–81,4 м. Мощность отложений – 6,0–40,2 м. Представлены отложения супесями, суглинками и глинами валунными.

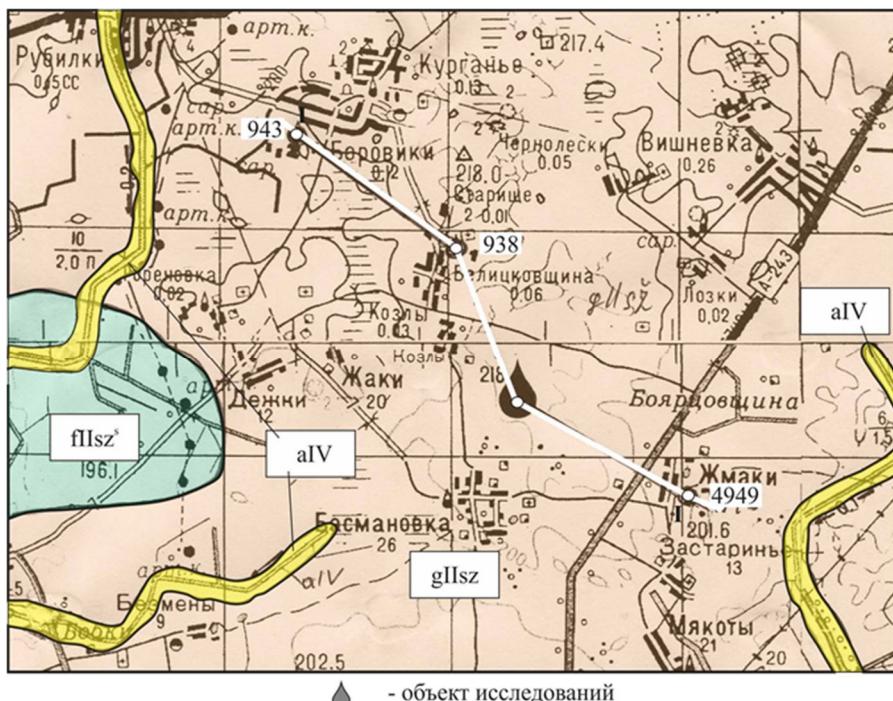
Днепровско-сожский горизонт. Водноледниковые отложения межморенные днепровско-сожского горизонта (*f,glII-d-sz*) залегают, на глубинах 22,0–55,2 м и перекрываются моренными отложениями сожского горизонта. Мощность описываемых отложений изменяется от 6,0 до 57,4 м и более. Представлены отложения в основном песками разнозернистыми.

Сожский горизонт. Моренные отложения сожского горизонта (*gII/sz*) распространены повсеместно на исследуемой территории и залегают в основном с поверхности. Представлены отложения супесями, суглинками и глинами валунными, песчано-гравийным материалом, мощностью до 55,2 м и более.

Флювиогляциальные отложения надморенные (*fII/sz^d*) залегают на моренных отложениях сожского горизонта на склонах долины р. Жесть. Мощность отложений изменяется от 1,0 до 10,2 м и более. Представлены отложения песками разнозернистыми и песчано-гравийным материалом.

Верхнеплейстоценовые лёссовидные отложения проблематичного происхождения (*prll/pz*) за- легают первыми от поверхности и имеют довольно широкое распространение. Представлены лёссо- видными супесями и суглинками мощностью 1,0–7,0 м.

Голоценовый горизонт. Отложения голоценового горизонта, распространенные в долине р. Жесть и впадающих в нее ручьев, представлены аллювиальными (*aIV*) и болотными (*bIV*) от- ложениями. Мощность отложений достигает 4–8 м. Представлены отложения песками разнозер- нистыми, зачастую илистыми, с прослойками супесей и суглинков пылеватых, торфами различной степени разложения.



Условные обозначения:

Symbols:

1. Стратиграфия

- aIV - голоценовые аллювиальные отложения
- flIlsz - флювиогляциальные отложения надморенные
- gt,gIIlsz - моренные отложения сожского горизонта
- f,lglld-sz - водноледниковые отложения межморенные днепровско-сожского горизонта

2. Литология

- | | | | |
|--|---------------------------|--|------------------|
| | - песок с гравием | | - глина |
| | - песчано-гравийная смесь | | - глина валунная |
| | - суглинок валунный | | |

3. Прочие обозначения

- стратиграфическая граница
- — скважина и ее номер
- линия геолого-гидрогеологического разреза
- Скважина
- 192,0 — пьезометрический уровень водоносного горизонта и его абсолютная отметка, м
- 30,0 — глубина подошвы слоя, м
- 47,0 — глубина скважины, м

Рис. 3. Геологическая карта четвертичных отложений района исследований

Fig. 3. Geological map of the quaternary deposits of the studied region

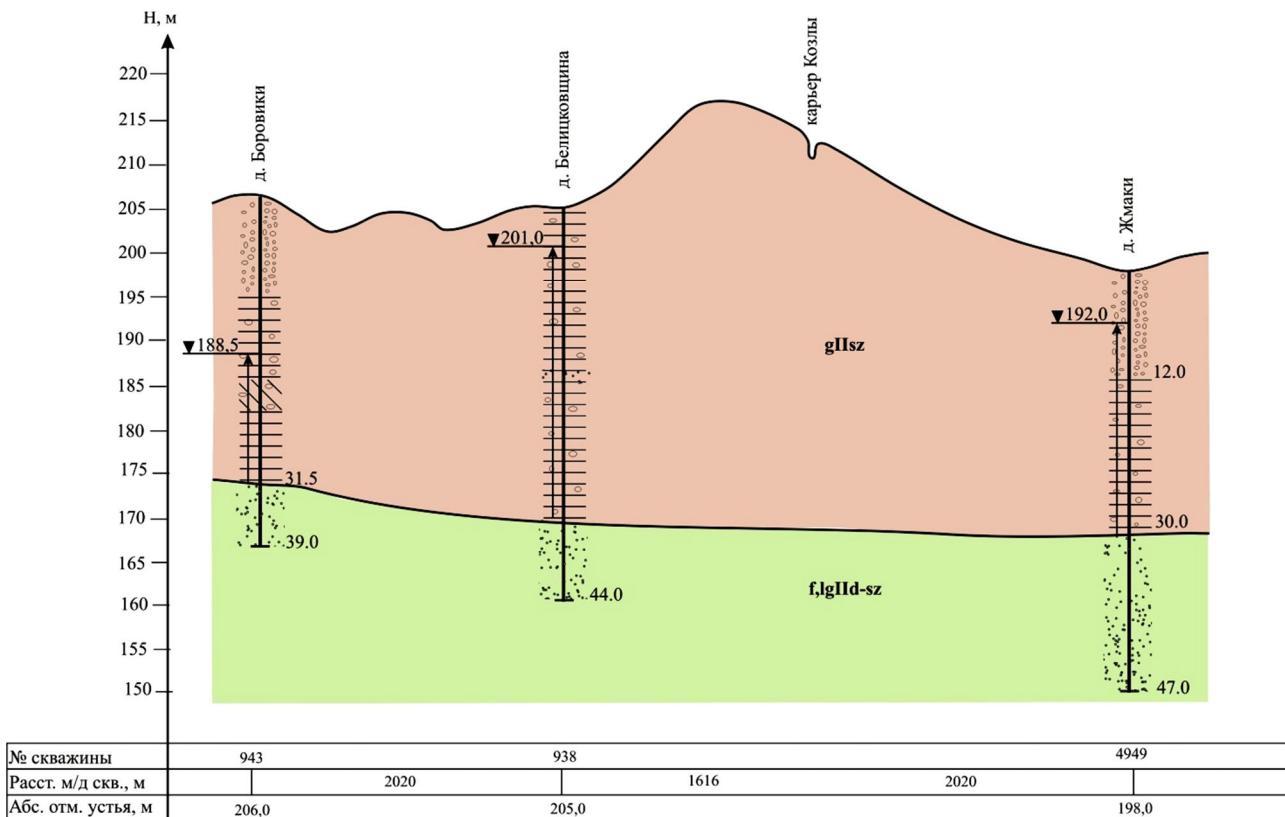


Рис. 4. Геолого-гидрогеологический разрез района исследований. Услов. обозн. см. на рис. 3

Fig. 4. Geological and hydrological incision of the studied region. Symbols see on the fig. 3

Гидрогеологические условия. Геологическое строение обуславливает гидрогеологические условия данной территории. На изучаемой территории выделяются следующие основные водоносные горизонты и комплексы:

- водоносный голоценовый аллювиальный пойменный горизонт (*a/V*);
- водоносный сожский надморенный флювиогляциальный горизонт (*f/lsz^s*);
- слабоводоносный водоносный сожский моренный комплекс(*gIIsz*);
- водоносный днепровско-сожский водноледниковый комплекс (*f,IgIId-sz*);
- водоносный нижне-среднеплейстоценовый водноледниковый горизонт (*f,Igl-II*).

Водоносный голоценовый аллювиальный пойменный горизонт (*a/V*) распространен в пойме р. Жесть. Водоносный горизонт безнапорный. Уровни устанавливаются на глубинах 0,2–1,0 м. Мощность водоносного горизонта составляет порядка 3–6 м и более.

Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод. Разгрузка – в речную сеть.

Водоносный сожский надморенный флювиогляциальный горизонт (*f/lsz^s*) распространен в долине р. Жесть. Водоносный горизонт безнапорный. Глубина залегания уровней грунтовых вод порядка 1,0–2,0 м. Водовмещающими породами являются пески разнозернистые и песчано-гравийные породы. Мощность водоносного горизонта составляет порядка 1–8 м.

Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, разгрузка – в речную сеть.

Слабоводоносный сожский моренный комплекс (*gIIsz*) приурочен на территории исследований к песчаным прослойям и линзам, залегающим в глинистой толще моренных отложений без определенной закономерности по площади и глубине. Мощность песчаных линз и прослоек изменяется от долей до 5–10 м и более. Подземные воды комплекса имеют напорно-безнапорный характер. Величина напора составляет 3–4 м и более. Водовмещающими отложениями являются песок разнозернистый, песчано-гравийный материал. Основным источником питания подземных вод является инфильтрация атмосферных осадков. Разгрузка осуществляется в речную сеть.

Указанный водоносный комплекс используется населением деревень для водоснабжения посредством шахтных колодцев.

Водоносный днепровско-сожский водноледниковый комплекс (f.Igl/d-sz) широко распространен в районе исследований. Кровля водоносного комплекса залегает на глубинах 22,0–55,2 м. Водоносный комплекс напорный, величина напора достигает 20–30 м. Мощность водовмещающих отложений изменяется от 6,0 до 57,4 м и более, представлены отложениями, преимущественно песками разнозернистыми. Питание водоносного комплекса осуществляется за счет перетекания из вышележащих водоносных горизонтов, разгрузка – в речную сеть. Описываемый водоносный комплекс используется для водоснабжения близлежащих сельских населенных пунктов. На указанный водоносный горизонт оборудованы скважины водозабора «Вицковщина».

Водоносный нижне-среднеплейстоценовый водно-ледниковый горизонт (f.Igl-II) залегает на глубинах 82,9–107,7 м и перекрыт слабопроницаемыми моренными отложениями днепровского горизонта. Водоносный горизонт напорный, величина напора достигает 60,0–80,0 м. Мощность водовмещающих отложений составляет 6,4–29,0 м. Водовмещающие отложения представлены песками разнозернистыми.

Питание водоносного горизонта осуществляется за счет перетекания из выше- и нижележащих водоносных комплексов, разгрузка – в речную сеть.

Водоносный горизонт используется для хозяйствственно-питьевого водоснабжения населения близлежащих деревень.

Состав донных отложений пруда-регулятора/ С целью определения химических веществ, которые потенциально могут выщелачиваться из отходов в процессе их складирования и включаться в миграционный поток, проведены исследования химического состава донных отложений пруда-регулятора по ул. Инженерной, эксплуатировавшегося в качестве сооружения очистки поверхностного стока с территории г. Минска более 25 лет.

В составе донных отложений пруда-регулятора определялись характерные для состава поверхностного стока, формируемого на городской территории, химические вещества: тяжелые металлы, нефтепродукты и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) [6, 7].

Пробы донных отложений отобраны в период проведения рекогносцировочного обследования ложа пруда-регулятора, выполнения инженерно-геологических изысканий для реконструкции сооружения. Местоположение точек отбора проб приведено на рис. 5.



Условные обозначения:
▼№ 2 - точка, ее номер отбора проб донных отложений при проведении инженерно-геологических изысканий
● № 5 - точка, ее номер отбора проб донных отложений при проведении рекогносцировочного обследования пруда-регулятора

Рис. 5. Схема отбора проб донных отложений пруда-регулятора

Fig. 5. Scheme of the pond bottom sediment sampling

В основу выбора местоположения точек отбора проб легло пространственное распределение донных отложений по площади сооружения. Точки отбора приурочены к участкам ложа пруда-регулятора, где с наибольшей вероятностью с гидравлической точки зрения откладывается основная масса отложений, концентрируются загрязняющие вещества поверхностного стока, т. е. у выпускных коллекторов дождевой канализации, в точке сопряжения дамбы с юго-западным бортом пруда.

Отобранные при проведении инженерно-геологических изысканий пробы позволили исследовать вертикальный профиль донных отложений, провести ретроспективный анализ динамики накопления нефтепродуктов и тяжелых металлов.

Химический состав образцов донных отложений представлен в табл. 1, 2.

Таблица 1. Химический состав донных отложений пруда-регулятора по вертикальному профилю, мг/кг

Table 1. Chemical content of the bottom sediments of the pound-regulator on vertical profile, mg/kg

Номер точки в соответствии со схемой рис. 5 и глубина отбора	Значение концентрации, мг/кг										
	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Co	Cr	Hg	V	As	Нефтепродукты
№1 0,0–0,5 м	36,0	111,05	17,8	1,26	35,56	7,74	92,86	<1,0	10,	<1,0	45592,2
№1 0,5–1,0 м	33,25	128,39	16,11	1,58	31,58	8,33	152,63	<1,0	3,0	<1,0	48457,7
№1 1,0–1,5 м	39,75	109,75	16,67	1,39	35,53	8,21	115,79	<1,0	2,0	<1,0	60947,4
№2 0,0–0,5 м	24,75	110,53	15,0	1,48	28,95	8,21	110,53	<1,0	3,0	<1,0	42796,1
№2 0,5–1,0 м	47,27	122,03	13,33	1,39	34,87	10,47	105,27	<1,0	10,0	<1,0	59568,4
№2 1,0–1,5 м	39,38	114,41	17,22	1,8	34,87	8,59	92,86	<1,0	10,0	<1,0	22507,2
№3 0,0–0,5 м	18,81	74,41	12,2	1,55	26,98	10,0	105,27	<1,0	10,0	<1,0	26567,3
№4 0,0–0,5 м	20,25	75,98	10,0	1,42	27,63	8,69	96,43	<1,0	7,0	<1,0	18705,2
ПДК/ОДК	33,0	55,0	32,0	0,5	20,0	20,0	100	2,1	150	2,0	500

Таблица 2. Содержание ПАУ в донных отложениях пруда-регулятора, мкг/кг

Table 2. Content of PAU in the bottom sediments of the pound-regulator, mkg/kg

№ п/п	Соединение	Номер точки отбора в соответствии со схемой отбора проб рис. 5						ПДК/ОДК
		№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10	
1	Нафталин	1079,0	460,0	391,0	308,0	96,0	390,0	15,0
2	Аценафтилен	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	<20,0	—
3	Аценафтен	481,0	341,0	407,0	588,0	<70,0	552,0	—
4	Флуорен	37,0	32,0	37,0	34,0	<9,0	66,0	—
5	Фенантрен	152,0	179,0	272,0	309,0	50,0	668,0	10,0
6	Антрацен	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	<0,9	50,0
7	Флуорантен	1398,0	2281,0	2063,0	2454,0	384,0	3519,0	15,0
8	Пирен	174,0	300,0	161,0	249,1	30,0	161,0	—
9	Бензо(а)антрацен	1660,0	3104,0	2606,0	2985	576,0	2368,0	20,0
10	Хризен	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	<3,0	20,0
11	Бензо(b)флуорентен	285,0	206,0	211,0	206,0	<0,8	476,0	25,0
12	Бензо(k)флуорентен	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	<0,7	—
13	Бензо(а)пирен	1142,0	935,0	1216,0	893,0	419,0	952,0	20,0
14	Дibenzo(a,h)антрацен	699,0	536,0	1101,0	765,0	415,0	1114,0	—
15	Бензо(g,h,i)периллен	1180,0	1193,0	1337,0	1102,0	717,0	1815,0	20,0
16	Индано (1,2,3-с,d)пирен	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	25,0
	Сумма 16 ПАУ	8287	9567	9802	9893,1	2687	12081	1000

Известно, что основная масса загрязняющих веществ поверхностного стока (нефтепродукты, тяжелые металлы) находятся в сорбированном на взвесях состоянии.

Анализ данных таблицы показывает, что вынос с поверхностным стоком (дождевым, талым) с различных функциональных зон территории города взвешенных веществ, их осаждение в пруду-регуляторе обусловило накопление в донных отложениях нефтепродуктов, тяжелых металлов и ПАУ.

Полученные результаты выявили общую тенденцию распределения содержания нефтепродуктов и ПАУ в донных отложениях в плане и по вертикали сооружения, тесную корреляционную связь содержания нефтепродуктов с концентрацией ПАУ в отобранных пробах (например, в точках отбора № 1, 5, 6).

Установлено, что содержание нефтепродуктов по всей площади пруда-регулятора превышает норматив ПДК в 34,4–122,0 раза, суммы ПАУ в 2,7–12,0 раз. По вертикальному профилю донных отложений пруда-регулятора от поверхности вглубь слоя содержание нефтепродуктов распределено неравномерно. Так, на участке выпуска дождевых коллекторов «Слепянка», «Дражня» (точка № 1, рис. 5.) фиксируются концентрации от 45 592,2 до 60947,4 мг/кг нефтепродуктов. Изменение концентрации нефтепродуктов по глубине слоя, может быть обусловлено рядом возможных причин:

- динамикой загрязнения поверхностного стока с городской территории в широком временном интервале;
- мозаичным характером образования конгломератов неорганического вещества взвешенных веществ и трансформированных в результате длительного хранения форм нефтепродуктов, их объединением и накоплением в виде смолистого осадка.

В донных отложениях также зафиксировано содержание широкого перечня тяжелых металлов, среди которых выявлено превышение нормированного содержания по следующим элементам: меди в 1,1–1,4 раза, цинка в 1,3–2,3 раза, кадмия в 2,5–3,2 раза и никеля в 1,3–1,8 раза.

Таким образом, в качестве основных веществ, которые потенциально могут участвовать в миграционном процессе с природными водами, рассматривались растворимые формы тяжелых металлов, миграционно активные составляющие нефтепродуктов – углеводороды полициклического ароматического ряда (ПАУ).

Оценка влияния на подземные воды. Построение геофiltрационной и геомиграционной моделей

В качестве метода для оценки изменения гидродинамической обстановки в районе использования выработанного карьерного пространства для складирования донных отложений пруда-регулятора выбран численный метод математического моделирования процессов геофильтрации и геомиграции [8].

Целью разработки геофильтрационной модели являлась оценка и выявление общих закономерностей распространения, формирования и движения подземных вод в районе складирования донных отложений в выработанном карьерном пространстве карьера «Козлы» с учетом нарушенного режима в результате эксплуатации водозаборных скважин, а также решение прогнозных задач по установлению изменения гидродинамических и гидрохимических условий.

Потенциальными источниками загрязнения подземных вод выступали растворимые формы химических веществ, входящих в состав складируемых донных отложений пруда-регулятора. Основным путем поступления химических веществ в зону аэрации и, как следствие, посредством миграции в водоносный горизонт рассматривалось повреждение сплошности противофильтрационного экрана (механические разрывы полимерной пленки).

Для компьютерного построения геофильтрационной математической модели была использована программная система по моделированию движения подземных вод и массопереносу GMS 5.1. Программа предназначена для моделирования в зонах полного и неполного насыщения движения подземных вод и переноса растворенных в воде компонентов, построения линий токов и т. п. Комплекс включает в себя также средства калибровки модели и визуализации результатов моделирования, инструменты для создания триангуляционной нерегулярной сети, конструирования трехмерных моделей стратиграфии и некоторые другие компоненты.

Геофильтрационная модель строилась в виде графической схемы в результате дальнейшего упрощения фильтрационной схемы до вида, возможного для описания с помощью уравнений математической физики.

Математическая модель нестационарной фильтрации базируется на следующем уравнении (1),

в условиях установившегося движения $\frac{\partial H}{\partial t} = 0$:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial H_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial H_y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(T_z \frac{\partial H_z}{\partial z} \right) = \mu(x, y, z) \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (1)$$

где H – функция напора, м; T – водопроводимость водоносного слоя, $\text{м}^2/\text{сут}$; μ – упругая водоотдача; (x, y, z, t) – пространственные и временные координаты соответственно.

При применении метода конечных разностей для решения дифференциальных уравнений дифференциалы заменяются конечными приращениями, в результате чего исходное уравнение преобразуется в систему алгебраических уравнений. Замена в дифференциальном уравнении производных конечными разностями приводит к дискретизации пространственной области на прямоугольные блоки.

Построение геофильтрационной модели проходило в три этапа.

1. Информационное обеспечение численных моделей.
2. Схематизация геолого-гидрогеологических условий.
3. Калибровка модели.

В качестве исходных данных были собраны, систематизированы и обобщены следующие материалы:

результаты инженерно-геологических изысканий в районе исследований;

материалы инженерно-геологических изысканий под водозабор «Вицковщина»;

данные режимных наблюдений за статическими и динамическими уровнями подземных вод в наблюдательных и эксплуатационных скважинах водозабора «Вицковщина»;

геолого-гидрогеологические карты и разрезы;

данные по фильтрационным параметрам водоносных комплексов и слабопроницаемых слоев;

данные метеорологических наблюдений в районе исследований;

результаты натурных исследований по данной территории.

Размеры области исследований выбирались исходя из максимально возможного влияния объекта на подземные воды на конечный расчетный период прогноза с учетом границ речных бассейнов.

На расстоянии зоны возможного влияния карьера моделируемая область охватывает междуречье рек Жесть и Птич, которые выступали внешними границами модели: с запада – р. Жесть, с востока – р. Птич границы первого рода $H = H(t)$; с севера и юга внешние границы задавались непроницаемыми – перпендикулярно изопльезам равного напора подземных вод ($Q(t) = 0$) (рис. 6).

На верхней поверхности расчетной области посредством граничных условий задавалось инфильтрационное питание подземных вод ($Q = Q(t)$).

Исходя из гидрогеологических условий территории и целей выполняемых исследований, за нижнюю границу принята кровля днепровских моренных отложений.

Границами второго рода задавались скважины водозабора «Вицковщина» с заданным отбором $\text{м}^3/\text{сут}$ ($Q = Q(t)$). Для первого слоя моделируемой области задавались дрены (мелиоративные каналы) граничным условием третьего рода ($Q = Q(H)$).

Область фильтрации в плане определена границами модели. В разрезе область фильтрации представляет собой трехслойную толщу: 1 слой – горизонт грунтовых вод; 2 слой – слабопроницаемые моренные отложения с напорными водами спорадического распространения (по имеющимся данным имеют ограниченное распространение в пределах моделируемой области фильтрации); 3 слой – водоносный днепровско-сожский горизонт.

Моделируемая область фильтрации аппроксимируется неравномерной сеткой и разбивается на расчетные блоки, образованные совокупностью прямых, параллельных координатным осям X и Y . При этом каждый блок характеризуется определенным набором фильтрационных параметров, устанавливаемых в соответствии с принятой дискретизацией области фильтрации в пространстве, размер блока изменяется от 50×50 м до 200×200 м. Общая площадь модели в плане составляет около 120 км^2 .

Геофильтрационные параметры водоносных горизонтов и слабопроницаемых разделяющих слоев выбраны по данным ранее проведенных на изучаемой территории гидрогеологических исследований и литературных источников. Значения коэффициентов фильтрации выбраны следующие: для водоносных отложений – от 15 до 28 м/сут, для слабопроницаемых отложений – 0,001 м/сут. Водопроводимости водоносных горизонтов изменяются от 60 до $700 \text{ м}^2/\text{сут}$ и выше.

Инфильтрационное питание подземных вод задавалось в зависимости от гипсометрических отметок дневной поверхности: от максимальных значений на водораздельных участках $\omega = 0,0006 \text{ м}/\text{сут}$ до $\omega = 0,0009 \text{ м}/\text{сут}$ в зонах разгрузки.

Заключительным этапом в построении геофильтрационной модели являлась ее калибровка, цель которой – достоверность выполненной схематизации гидрогеологических условий, а также адекватность принятой расчетной модели природе. Калибровка модели осуществлялась в результате корректировки (подбора) величины инфильтрационного питания в различных зонах моделируемой области. Разбивка на зоны осуществлялась с учетом водораздельных пространств – область питания. Интервал ошибки составлял 0,5 м, что вполне приемлемо для масштабов модели.

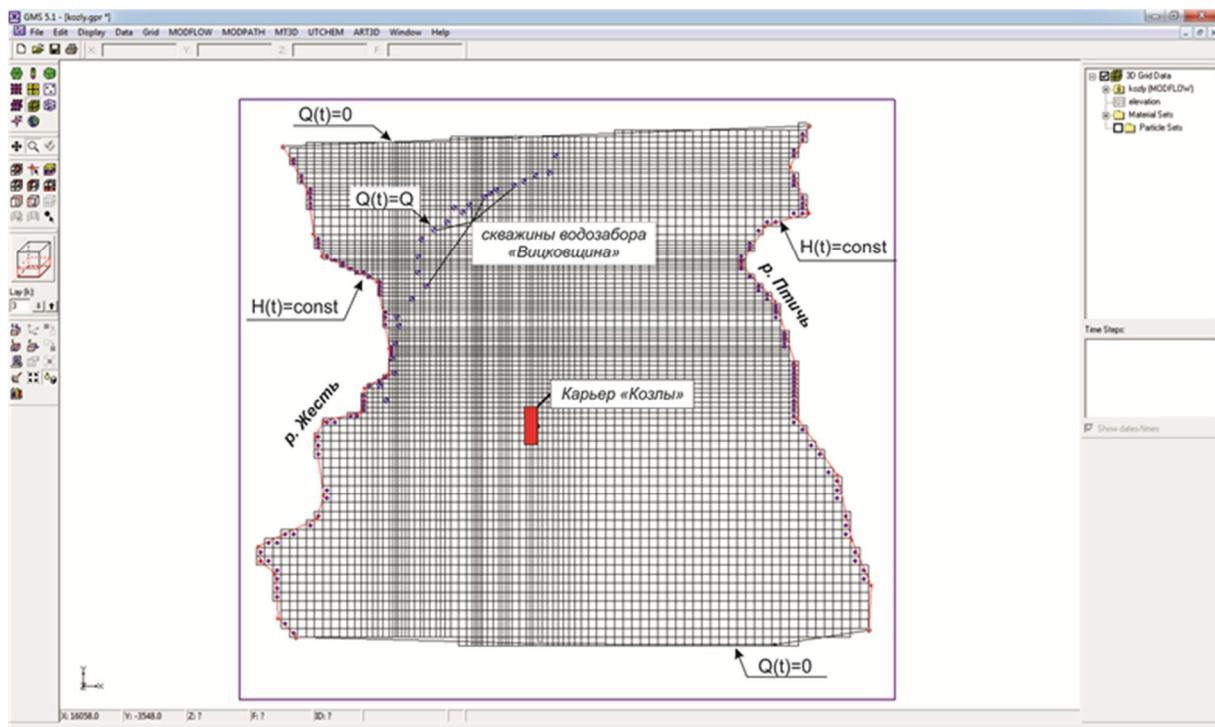


Рис. 6. Схематизация граничных условий

Fig. 6. Schematization of borders conditions

На разработанной модели было получено распределение уровней напорного водоносного горизонта в районе исследований. Движение подземных вод днепровско-сожского водоносного горизонта в региональном характере направлено в южном направлении при выраженном направлении стока от водораздельного пространства к рекам Жесть и Птичья, на локальных участках определяется дренирующим влиянием водозаборных скважин, т. е. направление потока происходит к скважинам.

На основе геофiltрационной модели, с помощью которой получена структура потоков подземных вод, построена геомиграционная модель, на которой осуществлялось моделирование миграции загрязняющего вещества с подземными водами. Результатами решения задачи стали дальность и время распространения, а также концентрация загрязняющего вещества в подземных водах.

Математическая модель геомиграции базируется на следующей системе уравнений:

$$-v_{xi} \frac{\partial C_i}{\partial x} - v_{yi} \frac{\partial C_i}{\partial y} + W_i = \sigma_i \frac{\partial C_i}{\partial t}, \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где $v = (v_x, v_y)$ – вектор скорости фильтрации, определяемый на основе решения геофiltрационной задачи; $C(x, y, t)$ – концентрация растворенных веществ; W – интенсивность выноса или поступления растворенных веществ относительно водоносного горизонта (из рек, через кровлю и подошву, с инфильтрационным питанием, в водозаборные скважины), определяемая соответствующим фильтрационным потоком и свойствами фильтрующейся жидкости; σ – активная пористость. Начальные условия определяют концентрации загрязняющих веществ для расчетных горизонтов на территории исследований в начальный момент времени. Начальные условия заданы в виде зависимости $C = C(x, y)$. Граничные условия заданы в виде контура I рода ($C = \text{const}$). Граничными условиями I рода задаются контуры, на которых концентрация загрязняющих веществ остается постоянной в течение всего периода расчета.

Исходные данные для геомиграционной модели импортировались из данных геофiltрационной модели. Разбивочная сетка, послойное строение и геофiltрационные параметры геомиграционной модели использовались те же.

При расчетах переноса загрязнения в водоносных пластах, представленных дисперсными породами, определяющее значение обычно имеет конвективный перенос загрязняющих мигрантов с фильтрационным потоком, поэтому расчеты переноса загрязнения производятся, прежде всего, на основе представления поля скоростей потока.

Для моделирования выбран один мигрант-загрязнитель. Это обусловлено тем, что при изучении контаминационных процессов (процессов загрязнения подземных вод) в части моделей гидрохимических превращений обычно принимается предпосылка о возможности использования моделей однокомпонентного раствора (контаминационная метка), в которой предполагается, что контаминаты (мигранты – загрязнители) не вступают во взаимодействия с остальными компонентами химического состава воды. Такая предпосылка характерна при действии техногенных источников загрязнения подземных вод.

На модели задавался площадный источник загрязнения (весь участок карьера). В качестве мигранта выбран неопределенный загрязнитель (в качестве которого с различной долей вероятности могут выступать подвижные формы тяжелых металлов, ПАУ), исходная концентрация которого задавалась в относительной величине – 100 %. Концентрация загрязнителя остается постоянной за весь расчетный период. Расчетный период составляет 9000 сут с шагом в 300 сут. Такие условия предполагали наихудший вариант возможного поступления загрязняющего вещества в подземные воды.

Анализ результатов решения прогнозных задач показал, что при поступлении загрязнителя в водоносный горизонт продвижение загрязненных вод происходит преимущественно к р. Жесть – основной границе области дренирования и к водозаборным скважинам водозабора «Вицковщина», а также частично и к р. Птич, что обусловлено расположением карьера на водораздельном пространстве (междуречье рек Птич и Жесть).

Прогнозная область загрязнения ограничена изолинией с концентрацией загрязнителя в подземных водах, равной 10 % от исходной. С течением времени концентрация в центре пятна загрязнения постепенно увеличивается, также увеличивается и площадь области загрязнения, в основном в продольных направлениях – к р. Жесть и частично к р. Птич. По мере распространения загрязнения к р. Жесть в зоне влияния эксплуатационных скважин водозабора «Вицковщина» наблюдается их дренирующее влияние.

На конец расчетного периода – 25 лет – фронт загрязнения в подземных водах (изолиния концентрации загрязнителя в подземных водах – 10 % от исходной) не достигнет рек Жесть и Птич, а также скважин водозабора «Вицковщина». Однако, следует отметить, что при моделируемом варианте миграции, область возможного загрязнения на 20-й год расчетов охватывает водозаборные скважины населенных пунктов Козлы и Басмановка, эксплуатирующие днепровско-сожский водоносный горизонт.

Выводы. В районе исследования на изучаемую глубину выделяются следующие основные водоносные горизонты и комплексы: водоносный голоценовый аллювиальный пойменный горизонт (*a/V*), распространен в пойме р. Жесть на глубинах 0,2–1,0 м; водоносный сожский надморенный флювиогляциальный горизонт (*f//sz^δ*) приурочен к пойме р. Жесть, залегает на глубине 1,0–2,0 м; слабоводоносный сожский моренный комплекс (*g//sz*) приурочен к песчаным прослойям и линзам, залегающим в глинистой толще моренных отложений; водоносный днепровско-сожский водноледниковый комплекс (*f//gl//d-sz*) повсеместно распространен на территории исследований, залегает на глубинах 22,0–55,2 м, водоносный комплекс напорный, широко используется для водоснабжения сельских населенных пунктов; водоносный нижне-среднеплейстоценовый водноледниковый горизонт (*f//gl-II*) залегает на глубинах 82,9–107,7 м, используется для питьевого водоснабжения.

Непосредственно на участке отработанного месторождения с поверхности залегают глинистые отложения сожской морены с линзами и прослойями песка, грунтовые воды отсутствуют.

Основная масса загрязняющих веществ, входящих в состав складируемых донных отложений пруда-регулятора находится в виде конгломератов неорганического вещества взвешенных веществ поверхностного стока с сорбированным на них ионами тяжелых металлов и нефтепродуктами.

При нарушении сплошности противофильтрационного экрана в теле карьера возможно поступление растворимых форм загрязняющих веществ донных отложений пруда-регулятора в зону аэрации и, как следствие, посредством миграции в водоносный горизонт.

Для оценки возможного загрязнения источников питьевого водоснабжения (групповой водозабор «Вицковщина» и одиночные скважины) методом математического моделирования был выполнен прогноз миграции загрязняющих веществ в водоносном днепровско-сожском горизонте при условии поступления в водоносный горизонт загрязняющих веществ, входящих в состав донных отложений. Прогнозные расчеты выполнены для наихудших условий, когда происходит постоянное поступление загрязнителя в водоносный горизонт.

По результатам моделирования установлено, что в случае поступления загрязнителя в подземные воды при складировании донных отложений пруда-регулятора в карьерное пространство, возможно распространение загрязнения с подземными водами. Фронт распространения загрязнения в подземных водах на конец расчетного периода – 25 лет – не достигнет рек Жесть и Птич, а также скважин водозабора «Вицковщина». С учетом расчетного срока службы противофильтрационной пленки, который составляет, как правило, порядка 20 лет, возможное поступление загрязняющих ве-

ществ от карьера к скважинам водозабора «Вицковщина» – источнику хозяйственно-питьевого водоснабжения, составит не менее 40 лет.

На основе результатов моделирования с учетом гидрогеологических особенностей территории размещения карьера «Козлы» разработаны рекомендации, позволяющие минимизировать риск возможного воздействия на поверхностные и подземные воды при проведении рекультивации карьерного пространства с использованием осадков очистных сооружений дождевого стока.

Список использованных источников

1. Матвеев, А. В. Рельеф Белоруссии / А. В. Матвеев, Б. Н. Гурский, Р. И. Левицкая. – Минск : Университетское, 1988. – 320 с.
2. Блакітны скарб Беларусі: Рэкі, азёры, вадасховішчы / маст.: Ю. А. Тарэеў, У. І. Цярэнцьеў. – Мінск : БелЭн, 2007. – 480 с.
3. Отчет к материалам инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий по объекту «Складирование донных отложений на внутрихозяйственном карьере “Козлы” по объекту: “Реконструкция пруда-регулятора в районе по ул. Инженерной”, РУП «Белгипроводхоз». – Минск, 2013.
4. Геология Беларуси. – Минск : Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. – 816 с.
5. Обзор подземных вод Минской области. – Минск, 1976. – Т. II : Буровые на воду скважины. Дзержинский район.
6. Городская среда: геоэкологические аспекты / В. С. Хомич [и др.]. – Минск : Беларусская наука, 2013. – 301 с.
7. Чечевичкин, В. Н. Особенности состава и очистки поверхностного стока крупных городов / В. Н. Чечевичкин, Н. И. Ватин // Magazine of Civil Engineering. – 2014. – № 6. – С. 67–74.
8. Гольдберг, В. М. Методы оценки защищенности подземных вод от загрязнения / В. М. Гольдберг // Изучение защищенности подземных вод : сб. науч. тр. – М. : ВСЕГИНГЕО, 1986. – С. 6–14.

References

1. Matveev A. V., Gursky B. N., Levitskaya R. I. *Relief Belarusi* [Relief of Belarus]. Minsk, 1988, 320 p. (in Russian)
2. *Blakitnyiy skarb Belarusi. Rekl, azeryi, vadashovlshchyi* [Bloklny belongings of Belarus: Rivers, lakes, reservoirs]. Paint.: Yu. A. Tareeu, U. I. Tsarentseu. Minsk, 2007, 480 p. (in Russian)
3. *Otchet k materialam inzhenerno-geologicheskikh i gidrogeologicheskikh izyiskaniy po ob'ektu «Skladirovaniye donnyih otlozheniy na vnutrihozyaystvennom karere “Kozly” po ob'ektu: “Rekonstruktsiya pruda-regulyatora v rayone po ul. Inzhenernoy”»* [Report to the materials of engineering-geological and hydrogeological surveys on the object “Storage of bottom sediments on the Kozly on-farm quarry” on the object: “Reconstruction of the regulatory pond in the area Engineering Str.”, RUE “Belgiprovodkhoz”]. Minsk, 2013. (in Russian)
4. *Geologiya Belarusi* [Geology of Belarus]. Minsk, Institute of Geological Sciences of NAS of Belarus Publ., 2001, 816 p. (in Russian)
5. *Obzor podzemnyih vod Minskoy oblasti. T. II. Burovyie na vodu skvazhiny. Dzerzhinsky rayon* [Overview of groundwater in the Minsk region. T. II. Drilling water wells. Dzerzhinsky district.]. Minsk, 1976. (in Russian)
6. Homich V. S. [et al.]. *Gorodskaya sreda : geoekologicheskie aspekty* [Urban environment: geoelectrical aspects]. Minsk, Belarus. navuka Publ., 2013, 301 p. (in Russian)
7. Chechevichkin V. N., Vatin N. I. *Osobennosti sostava i ochistki poverhnostnogo stoka krupnyih gorodov* [Features of composition and purification of surface runoff of large cities]. *Magazine of Civil Engineering*, 2014, no 6, pp. 67–74. (in Russian)
8. Goldberg V. M. *Metody otsenki zaschischennosti podzemnyih vod ot zagryazneniya* [Methods for assessing the protection of groundwater from pollution]. *Izuchenie zaschischennosti podzemnyih vod* [Groundwater security study]. Sb. nauch. tr. VSEGINGEO [Proc. of the VSEGINGEO]. Moscow, 1986, pp. 6–14. (in Russian)

Информация об авторах

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

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

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

Information about the authors

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

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

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

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СОЗДАНИЮ ЕДИНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Ю. А. Романкевич

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Разработаны и представлены методические подходы к созданию единой классификации почв урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации. Определены общие принципы и признаки как для классификации в целом, так и для систематизации конкретных отдельных групп объектов. Впервые предложен методический прием, позволяющий объединить почвы, почвоподобные и непочвенные образования в единую классификационную систему, при этом учитывая их генетическую разнородность.

Ключевые слова: классификация почв; почвоподобные образования; непочвенные образования; почвы урбанизированных территорий.

Для цитирования. Романкевич Ю. А. Методические подходы к созданию единой классификации почв урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 108–124.

METHODOLOGICAL APPROACHES TO CREATING A UNIFIED CLASSIFICATION OF SOILS IN URBAN AREAS WITH VARYING DEGREES OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION

J. A. Ramankevich

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

Abstract. Methodological approaches to the creation of a unified soil classification of urbanized territories with varying degrees of anthropogenic transformation are developed and presented. The general principles and features for the classification and systematization of specific individual groups of objects are defined. For the first time, a methodical technique has been proposed that allows combining soils, soil-like and non-soil formations into a single classification system, taking into account their genetic heterogeneity.

Key words: soil classification; soil-like formations; non-soil formations; soils of urbanized territories.

For citation. Ramankevich J. A. Methodological approaches to creating a unified classification of soils in urban areas with varying degrees of anthropogenic transformation. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 108–124.

Введение. К настоящему времени в практических и научных целях разработано и используется множество классификаций почв, базирующихся на разных принципах. Согласно В. М. Фридланду [1], все многообразие классификаций почв можно разделить на общие и прикладные (рис. 1). В общих классификациях почвы рассматриваются как природные (или природно-антропогенные) тела и группируются по принципу их сходств и различий независимо от возможностей их использования для каких-либо определенных целей. Среди общих классификаций выделяются: химические, петрографические, литологические, биологические и другие, учитывающие максимальное количество свойств почв. В эту группу входят и генетические классификации, в которых учет максимального количества свойств почв соединяется с их генетической интерпретацией. Естественные, особенно одна из их групп – генетические классификационные системы, представляют важный механизм дальнейшего развития науки, который действует всякий раз, когда необходимо найти в них место новым объектам.

Однако, несмотря на множество классификаций почв, в научной литературе отмечается [1–8] что к настоящему времени не разработана единая теория естественно-научных классификаций. Единый подход к проблеме составления генетической классификации городских почв также не выработан [1–8]. Классификационная проблема остается актуальной, дискуссионной и, в принципе, не имеет окончательного решения [1, 3, 8, 9]. Тем не менее исследователи должны стремиться к созданию естественной классификации, которая отражает реально существующие в городской среде классы однородных объектов так, что само расположение объекта в классификационной системе указывает на его признаки [10].

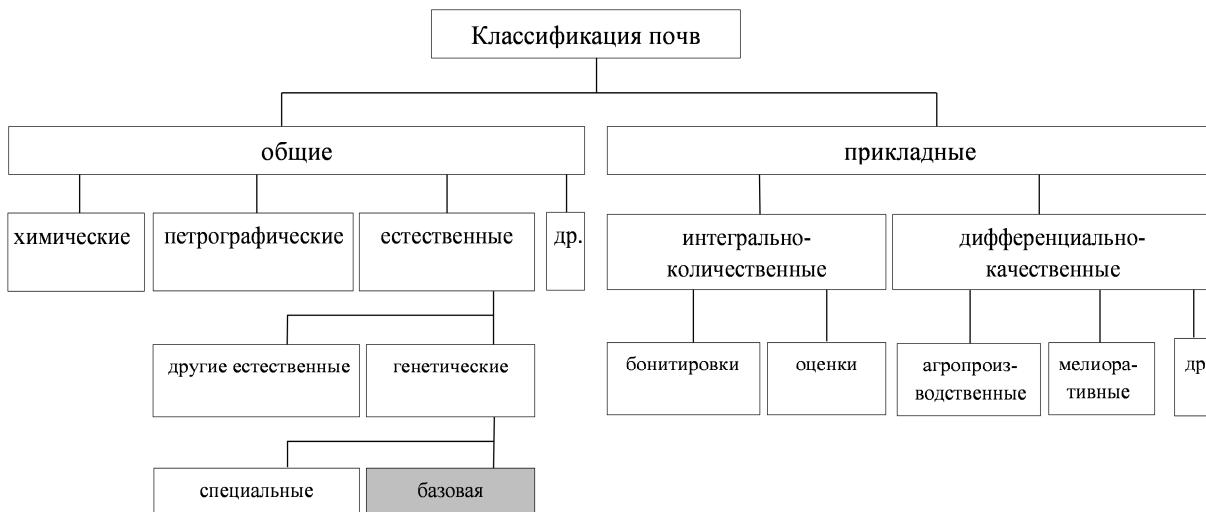


Рис. 1. Место предлагаемой классификации в схеме группировки почвенных классификаций В. М. Фридланда [1]

Fig. 1. The place of the proposed classification in the scheme of grouping soil classifications of V. M. Friedland [1]

В разные годы в развитие национальной классификации почв Беларуси внесли вклад работы ученых-почвоведов: В. Г. Касаткина (1923); Я. Н. Афанасьева (1926); И. С. Лупиновича и П. П. Рогового (1952); А. Г. Медведева, М. П. Булгакова и Ю. И. Гавриленко (1960); Н. И. Смеяна, Т. А. Романовой и И. Н. Соловьева (1972) и др. Объектом исследований являлись зональные почвы, также изучались особенности проявления процессов почвообразования в Беларуси. Первая классификационная схема антропогенно-преобразованных почв Беларуси была разработана Г. С. Цытром (1990). Антропогенно-преобразованные почвы рассматривались как самостоятельные почвенные образования, претерпевшие значительные изменения и утратившие свои классификационно-генетические признаки под влиянием хозяйственной деятельности. Такие почвы были выделены на высоком таксономическом уровне (класс) с дальнейшим делением на типы и подтипы.

В настоящее время для почв Беларуси используется национальная классификация [11, 12], которая учитывает мировой и отечественный вековой опыт в области изучения почв, является открытой и динамичной системой, которая совершенствуется (1960; 1972; 1990; 2004; 2007; 2008; 2011). Действующая классификационная модель базируется на обобщении обширного фактического материала, содержит диагностические признаки основных почвообразующих пород Беларуси, морфологические признаки и диагностику почв Беларуси, а также критерии разделения на роды, виды, разновидности. Включает соотношение номенклатурного списка почв Беларуси и мировой реферативной базы почвенных ресурсов (WRB) [13].

Национальная классификация посвящена систематизации естественных и антропогенно-преобразованных почв, однако среди последних рассматриваются преимущественно почвы, изменившиеся под действием сельскохозяйственного фактора (агротехногенно измененные) [11–13]. При этом почвы, трансформированные в результате урбанизации, не выделяются. Это объясняется тем, что в настоящее время в соответствии с законодательством Беларуси в городе «земли/почвы» определяются преимущественно с позиции градостроительных норм, рассматриваются в качестве пространственной материальной основы хозяйственной и иной деятельности.

В то же время на основании системных исследований антропогенных почв, проведенных в последние десятилетия учеными-почвоведами М. Г. Агарковой, М. И. Строгановой, М. И. Герасимовой, И. И. Лебедевой, Т. В. Прокофьевой, Б. Ф. Апариным, Л. В. Етеревской, В. Д. Тонконоговым, Л. Л. Шишовым и другими установлено, что в условиях урбанизации формируются специфические городские почвы, эволюция которых обусловлена специфическими факторами [4, 14–22]. Такие почвы подлежат изучению, систематизации, учету и охране. Результаты исследований российских ученых легли в основу систематики городских почв и разработки закона «О городских почвах» Российской Федерации.

Согласно экспертному мнению [2, 22], каждые 8–10 лет классификация почв должна совершенствоваться, учитывая отечественный и международный опыт изучения почв. В контексте этого факта,

что действующая классификационная модель была разработана и опубликована в 2007–2011 гг., исследования в области систематики почв приобретают особую актуальность.

Цель работы – на основании обобщения отечественного и мирового опыта в области классификаций почв [18], детального изучения проблем, возникающих при структурировании и использовании существующих классификаций антропогенно преобразованных почв [3–5, 7, 10, 14–16, 22–25], а также при строгом соблюдении общих правил построения классификационных схем и представлений о генетической классификации [1, 7, 8, 26], разработать и представить методические подходы к созданию единой классификации почв урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации.

Под единой классификацией почв урбанизированных территорий мы понимали систематизированное распределение почв в разной степени преобразованных, а также почвоподобных и непочвенных образований, согласно их таксономическому рангу, определенному в соответствии с разработанными критериями, на основании обобщения известных признаков и выбранных методов, позволяющих в одной иерархической системе учитывать сходства и различия классифицируемых элементов, сформированных под воздействием природных, а также агротехногенных факторов. Предлагаемая классификация получила название «единой» так как в одной иерархической системе она упорядочивает генетически разнородные объекты (почвы, почвоподобные и непочвенные образования), а также предлагает учитывать не только природные и агротехногенные (согласно национальной классификации почв), но и урботехногенные факторы. Такой подход является новым и применяется впервые.

Объектом исследований явились городские территории, предметом – почвенный покров, представленный в разной степени антропогенно-трансформированными почвами, а также почвоподобными и непочвенными образованиями. В качестве модельного был выбран почвенный покров малого города, в пределах которого представлены разные виды антропогенных трансформаций на фоне устоявшегося регламента использования городских территорий в течение длительного времени.

Важнейшей задачей настоящей статьи и собственно классификации явилась разработка общих критериев и обобщение известных признаков, позволяющих определить, диагностировать и систематизировать конкретные отдельные группы объектов (почвы, почвоподобные и непочвенные образования) на разных таксономических уровнях в единой системе для гармонизации предложенной модели с национальной системой классификации.

Исходя из вышеизложенного, с одной стороны, классификационная схема должна соответствовать требованиям, предъявляемым к созданию классификации как системного построения и содержать: определение объекта и цели; выбор метода классификации; установление классификационных признаков и их последовательности от более существенного к менее существенному; определение числа ступеней классификации, а с другой – подчиняться принятому порядку классификации почв и включать систематику, таксономию, диагностику и номенклатуру.

Предлагаемая классификационная модель выполнена на основании изучения и обобщения отечественного и международного опыта в области создания классификационных моделей и их эксплуатации, посвященного систематизации естественных и антропогенных почв, освещенного в научной литературе [6]. В основу разработки положены результаты натурных исследований почв городов и урбанизированных территорий Беларуси [27, 28].

Использовались данные ретроспективной карты почвенного покрова, составленной специально для модельной территории (г. Несвижа) в масштабе 1 : 10 000, соответствующие периоду доселитебного освоения территорий, которые отражают строение как поверхностных, так и наиболее глубоких почвенных горизонтов, а также предоставляющие сведения о почвообразующих и подстилающих породах [27]. В основу легли исторические материалы, датированные началом XVII в. (гравюры), карты города и окрестностей (1869, 1934, 1938 г.), материалы почвенной съемки участков городских территорий и окрестностей (год обследования – 1980 г.), а также актуальные картографические материалы, отражающие рельеф и функциональное назначение городских территорий.

Созданию статьи и разрабатываемой классификационной модели также предшествовал полевой период: заложение почвенных разрезов с целью изучения их морфологии; выполнение системы прикопок для уточнения границ почвенных разновидностей на местности; отбор почвенных образцов для аналитических исследований, реализованных на территории модельного города в 2014–2018 гг. Отмечались ландшафтные особенности и функциональное использование. Изучалась структура почвенных профилей, фиксировалась глубина и характер антропогенного воздействия.

Обобщение материалов, посвященных этапу доселитебного освоения почвенного покрова модельной урбанизированной территории (г. Несвижа), результаты полевых и лабораторных исследований актуального состояния почвенного покрова легли в основу разработки классификационной модели и были реализованы при создании картосхемы почв г. Несвижа с разной степенью антропоген-

ной трансформации в масштабе 1 : 10 000, выполненной в целях разработки и реализации Генерального плана г. Несвижа (УП «БелНИИПГрадостроительства»).

Основные понятия, методы и правила классификации как системного построения и их использование при создании представляемой модели. Классификация – это систематизированное распределение любого множества объектов на подмножества разного уровня по сходству или различию в зависимости от определенных признаков и выбранных методов [29]. В свою очередь, объектом является элемент классифицируемого множества. В почвоведении таким элементом выступают почвы.

Традиционно целью классификации является систематизация объектов, создание научной базы для управления их качеством, разработка правил и систем классификации. Основанием классификации служит признак или несколько признаков.

Признак классификации отражает свойство или характеристику объекта, имеет качественное или количественное выражение. На основании совокупности количественных и качественных признаков осуществляют выбор критерия классификации.

В качестве основного критерия разрабатываемой классификации выбрана степень трансформации почвенного покрова под воздействием техногенеза. В зависимости от интенсивности проявления техногенного воздействия почвенный покров урбанизированных территорий представлен собственно почвами, а также почвоподобными и непочвенными образованиями.

Основным признаком разрабатываемой классификации стали особенности проявления трансформаций почвенного покрова под воздействием техногенеза, которые характеризовались качественными и количественными показателями изменения в диагностическом профиле относительно генетического профиля природного аналога. Так, качественные трансформации указывали на направление изменений, а количественные трансформации – на их интенсивность.

Традиционно различают две разновидности метода классификации: иерархический и фасетный. Схематично сущность методов показана на рис. 2.

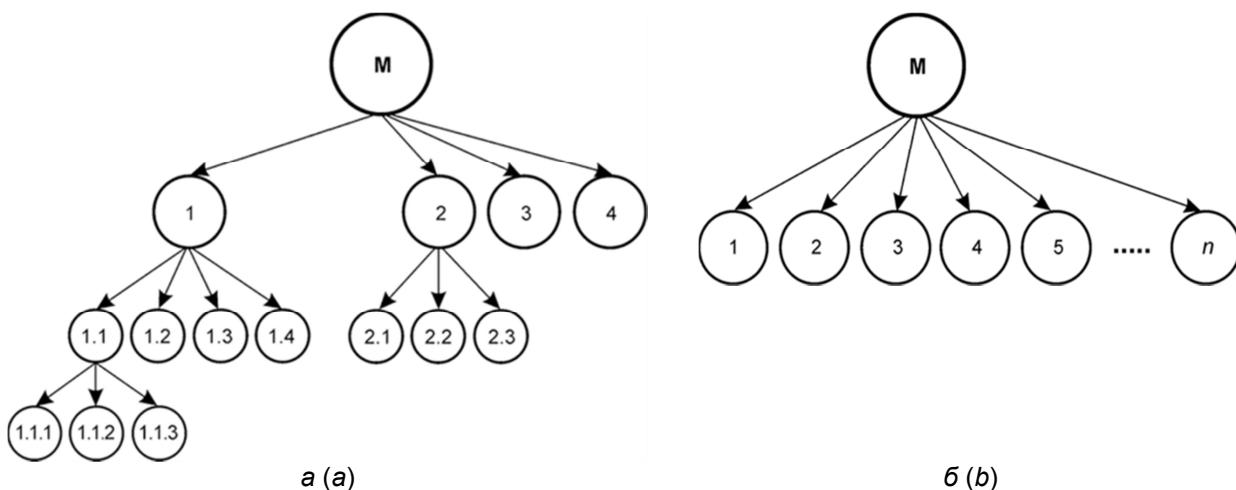


Рис. 2. Методы классификаций: а – иерархический; б – фасетный

Fig. 2. Classification methods: a – hierarchical; b – faceted

В качестве основного нами был выбран иерархический метод классификации, основанный на последовательном разделении множества объектов на подчиненные классификационные группировки и являющийся традиционным при классификации почв. Особенностью иерархического метода является тесная связь между отдельными классификационными группировками, выявляемая через общность и различия основополагающих признаков.

В основу деления множества на подмножества по основополагающему для данного этапа признаку положена ступень классификации, которая представляет собой этап классификации при иерархическом методе, в результате которого получается совокупность классификационных группировок. Количество признаков и ступеней определяет глубину классификации. На рис. 2, а показана классификация иерархическим методом, глубина которой равна трем ступеням. В используемой нами классификационной модели, в соответствии с выделенными ступенями (таксон, отдел, класс, подкласс, тип, надподтип, подтип, род, вид, разновидность), глубина составила десять ступеней.

При необходимости увеличения числа признаков на уровне ступени классификации дополнительно был применен *фасетный метод* классификации – параллельное разделение множества объектов на независимые классификационные группировки (рис. 1, б). Использование фасетного метода позволило классифицировать объекты по разным, не связанным между собой признакам, а значит характеризовать разнородные объекты (почвы, почвоподобные и непочвенные образования) на основании не только сходств, но и различий на уровне одной ступени.

Кодирование является неотъемлемым этапом каждой классификации, предназначено для формализованного описания наименований различных аспектов данных и направлено на упорядочение объектов. При создании кода исходное множество объектов обозначают набором символов на основе совокупности определенных правил. В почзоведении такие коды традиционно именуют индексами, а процесс их создания – индексировкой. Для отображения набора символов принято использовать буквенно-цифровую структуру.

Основные определения, методы и правила классификации почв. Систематика в широком понимании – это учение о разнообразии всех существующих на Земле почв, о взаимоотношениях и связях между их различными группами (таксонами), основывающихся на их диагностическом описании, определении путем сравнения специфических особенностей каждого вида почвы и каждого таксона более высокого ранга, а также выявлении общих особенностей у тех или иных таксонов [8, 10, 30]. Разделы систематики почв включают таксономию, номенклатуру и диагностику. Основными методами, используемыми в систематике являются сравнительно-исторический и сравнительно-географический.

Таксономия почв представляет собой систематизацию объектов с установлением их иерархии. Опирается на понятие о таксономических единицах (таксонах) – последовательно соподчиненных систематических категориях, отражающих объективно существующие в природе группы почв. Иерархия таксонов определена местоположением в структуре [8, 10, 30]. В классификации почв Беларуси используется следующий таксономический ряд: таксон → отдел → класс → подкласс → тип → (надподтип) → подтип → род → вид → разновидность. В качестве дополнительного таксона введен надподтип с целью классификации режимов увлажнения почв (естественный и после осушения) и степени их проявления в почвах [11, 12].

В основе почвенной таксономии традиционно лежит докучаевское учение о типе [9, 30]. Тип является основной таксономической единицей систематики почв. В типы объединяют группы почв, сформировавшиеся в одинаковых природных условиях, под воздействием одних и тех же процессов и имеющих профиль из однотипных взаимосвязанных генетических горизонтов.

Под *типовогией* понимают расчленение систем объектов и их группировку с помощью типа, т. е. обобщенной, идеализированной модели. Представление идеальной модели объекта основано на количественной обработке и обобщении опытных данных, фиксации устойчивых признаков сходства и различия, находимых индуктивным путем, систематизации и интерпретации полученного материала.

В почзоведении такую идеализированную модель называют «центральным образом», а процесс ее создания – эталонированием. Согласно работе [22], эталонирование – четкое определение, по возможности приведенное в количественные рамки, создавшихся в коллективном сознании ученых образов горизонтов или почв на уровне типа для избежания противоречий в диагностике.

Номенклатура почв представляет собой наименование почв в соответствии с их свойствами и классификационным положением. В действующей классификации почв Беларуси «Номенклатурный список почв Беларуси» имеет корреляцию с Мировой Реферативной Базой Почвенных Ресурсов (WRB) и насчитывает 224 наименования. Из этого списка кроме прочих в качестве типичных и наиболее характерных для почв урбанизированных территорий могут быть заимствованы следующие названия, определяющие вид трансформации: эродированные, скальпированные, карьерно-литогенные, рекультивированные, насыпные, турбированные, подтопленные, постдренированные, а также химически и физически загрязненные.

Диагностика почв позволяет определить принадлежность почв к тому или иному классификационному подразделению по определенной совокупности признаков и типодиагностических горизонтов. С целью диагностики национальная классификация опирается на 21 признак, среди которых содержится описание для рекультивированных, насыпных, поверхностно-перемешанных и других почв. Сочетание тех или иных горизонтов, их последовательность дают определенный тип генетического профиля почв и характеризуют его строение. Так, в национальной классификации содержится описание 31 типодиагностического горизонта.

Индексировка типодиагностических горизонтов традиционно производится заглавными буквами латинского алфавита в соответствии с принятыми индексами национальной классификации. При выявлении различий в пределах одного типодиагностического горизонта по окраске, сложению, составу,

литологии и т. д. выделяются слои, которые нумеруются арабскими цифрами согласно работе [13]. При качественных изменениях основных генетических и срединных горизонтов, обусловленных различной степенью проявления налагающихся почвообразовательных процессов используются диагностические признаки, которые обозначаются строчными буквами латинского алфавита.

Таким образом, систематика является теоретической основой, служащей для проведения группировки объектов, в то время как классификация подразумевает непосредственно группировку объектов. Основной целью систематики почв является создание полной системы – классификации почв Земли и Беларуси в частности. Результатом классификации является таксономия, в которой установлено соподчинение таксонов. В почвоведении подавляющее число классификаций представляет собой иерархические таксономии.

Традиционно работа по составлению классификации почв состоит из таких этапов, как: установление и точная формулировка принципов классификации; разработка системы соподчиненных таксономических единиц; составление классификационной схемы или систематического списка почв; разработка системы названий или номенклатуры почв; установление признаков, по которым почвы каждого классификационного подразделения могут быть найдены в природе и выделены на почвенных картах [7].

Терминологический аппарат и методические приемы, используемые при построении разработанной классификации. Согласно работам [9, 30], почвы – поверхностный слой литосферы Земли, обладающий плодородием и представляющий собой полифункциональную гетерогенную открытую четырехфазную структурную систему, образовавшуюся в результате выветривания горных пород и жизнедеятельности организмов.

Почвы, генетические горизонты и свойства которых практически не претерпели изменений под влиянием урбо- и агротехногенеза, были отнесены нами к естественным. Главным критерием выделения почв этого отдела явились сохранение и диагностирование основных генетических горизонтов: гумусового (органогенного), элювиального (срединного) и иллювиального. Такие почвы распространены под лесами, могут быть представлены под лесопарками, находящимися в составе городских земель, а также в пределах неосвоенных водосборов естественных водных объектов. Свидетельства о сохранении естественных почв в городе встречаются в научной литературе, посвященной обобщению значительного объема фактических данных, полученных в ходе полевых исследований почв урбанизированных территорий [27, 28]. Поэтому естественные почвы должны быть представлены и учтены в качестве таксономической единицы в классификации почв урбанизированных территорий.

Поверхностно-преобразованные почвы – те, которые претерпели изменения в процессе хозяйственной деятельности человека, но сохранили классификационно-генетические признаки естественных почв. В качестве основания для выделения антропогенно-естественных почв мы опирались на степень проявления антропогенных факторов, которые оказали воздействие на формирование почвенного профиля. При этом было предложено в качестве равнозначных антропогенных факторов учитывать урбо- и агротехногенные. Представление о поверхности-преобразованных почвах под воздействием урботехногенных факторов разработано Т. В. Прокофьевой, И. А. Мартыненко, Ф. А. Иванниковым [22]. Такие почвы распространены на пустырях, в парках, ложбинах стока, пределах водосборов естественных водных объектов в пределах урбанизированных территорий.

Понятие о поверхности-преобразованных почвах под воздействием агротехногенных факторов сформировано отечественными специалистами при классификации сельскохозяйственных почв. Согласно работе [13], такие почвы формируются в результате земледельческого освоения естественных почв, распространены под пахотными угодьями. Нами было сделано предположение о распространении таких почв в пределах урбанизированных территорий на месте луговых и лесных земель, ранее используемых под пашни. Выделение этих почв в пределах урбанизированных территорий обосновано данными учета земель, которые свидетельствуют о том, что в составе городских значительные площади занимают сельскохозяйственные земли. Средний показатель по городам Беларуси – 37 %, тогда как в малых населенных пунктах этот показатель превышает 50 %. На основании этих фактов при классификации городских почв было предложено учитывать поверхности-преобразованные почвы под воздействием агротехногенных факторов.

Глубоко-преобразованные почвы – те, что возникли в результате глубокой трансформации профиля и свойств естественных и антропогенно-естественных почв под влиянием хозяйственной деятельности человека и утратили свои классификационно-генетические признаки. Характерной особенностью таких почв является наличие в профиле антропогенно-преобразованного горизонта, сформированного на месте нескольких верхних естественных диагностических горизонтов и залегающего непосредственно на срединном горизонте, почвообразующей или подстилающей породе. В основе выделения почв данного отдела лежат многолетние системные исследования российских коллег – специалистов в области изучения городских почв [31, 22].

Кроме почв, в разной степени преобразованных, в городе распространены почвоподобные и непочвенные образования [4, 21, 31, 32]. Важной особенностью развития городского пространства является сокращение площадей естественных и преобразованных почв за счет увеличения доли почвоподобных и непочвенных образований.

Почвоподобным образованиям, почвоподобным техногенным поверхностным образованиям [32], почвоподобным телам [19], техноземам (термин Л. В. Еретевской [16]) или почво-грунтам (термин Л. Т. Земляницкого [33]) в последнее время в научной литературе уделяется значительное внимание. Тем не менее, ввиду отсутствия единой общепринятой классификации, а также четко определенного места подобных образований в иерархии городских почв, существует множество подходов к классификациям и терминологическому аппарату, что не позволяет оценивать их состояние и картировать.

В качестве отдельной единицы классификации на самом высоком уровне (таксон) мы выделили *почвоподобные городские образования*, под которыми понимаем целенаправленно сконструированные почвоподобные тела, состоящие из природного субстрата, характеризуемые гумусированностью и структурностью верхних горизонтов, подстилаемые природными почвообразующими породами или антропогенным грунтом.

В отечественной и зарубежной литературе почвоподобные образования чаще всего рассматриваются в качестве разновидности техногенных поверхностных образований (ТПО) [21, 31, 32]. На наш взгляд, наличие природной составляющей в составе этих образований является основанием для выделения их в отдельную категорию на самой высокой иерархической ступени наряду с почвами и непочвенными образованиями. Являясь естественно-техногенными, такие образования наиболее уязвимы в системе городских почв, поэтому остро нуждаются в учете и изучении. Кроме того, с течением времени и при землепользовании, основанном на природоохранных концепциях, такие образования могут эволюционировать в городские почвы, превращаясь в более устойчивые компоненты городской среды.

Определенное место в нашей классификации заняли *непочвенные образования* – техногенно-созданные грунты собственно городского или промышленного происхождения, содержащие остаточные продукты хозяйственной деятельности. Они могут быть представлены как бесструктурным органо-минеральным материалом, так и специфическим новообразованным субстратом, не встречающимся в природной среде. Непочвенные образования могут включать твердые коммунальные отходы городских свалок разной степени разложения, инертные и токсичные отходы производства (шлаки, золы, иловые осадки со станций аэрации, сожженный грунт и т. д.) [21].

Все эти образования – и почвоподобные, и непочвенные, – находясь на поверхности и тем самым функционируя в экосистеме, не являются почвами в докучаевском смысле этого понятия, поскольку в них еще не сформировались генетические горизонты. Вместе с тем такие образования нуждаются в систематике и диагностике, поскольку как и почвы, так и другие поверхностные тела суши, могут и должны быть объектом изучения и картографирования.

Таким образом, выделение почве, почвоподобных и непочвенных образований в составе почвенного покрова урбанизированных территорий основывалось на представлении о почве как о природном образовании, характеризующемся наличием генетического профиля и обладающем плодородием. На основании этого представления к почвоподобным были отнесены техногенно-природные образования с искусственно сформированным профилем и обладающие плодородием. Непочвенные образования, в свою очередь, определены как неприродные, не имеющие профиля и не обладающие плодородием. Таким образом, выделение осуществлялось по критерию генетичности.

Согласно работе [31], термин «городские почвы» в широком понимании объединяет разные виды трансформаций почвенного покрова в городе. Однако традиционно такие «почвы» изучаются в многонаселенных, многофункциональных и промышленных городах, где среди наиболее распространенных и в то же время наиболее измененных – глубоко-преобразованные почвы и почвоподобные образования. При этом поверхностно-преобразованные почвы встречаются редко, трудно идентифицируются в связи с многофакторностью, изменчивостью и агрессивностью воздействия городской среды. Естественные почвы в пределах территорий больших городов практически не выделяются.

В то же время почвы, трансформированные под воздействием городской среды, распространены не только во много- и средненаселенных городах, но и в малых городах, а также в поселках городского типа, имеют ряд особенностей, проявляющихся в глубине и характере изменений почвенного профиля. Так, например, разновидности трансформаций под воздействием сельскохозяйственного воздействия могут быть представлены на 50 % урбанизированных территорий страны, в соответствии с данными кадастра Беларусь.

Под «почвами урбанизированных территорий» мы понимали всю совокупность в разной степени антропогенно-преобразованных почв, а также почвоподобные и непочвенные образования, распространенные на урбанизированных территориях. Исследования почвенного покрова проводились в малых городах, почвенный покров которых содержит все виды трансформаций и их сочетаний, т. е. по сути отражает разные инвальноационные стадии при длительномmonoфакторном воздействии, начиная от естественных почв до почвоподобных и непочвенных образований.

Цепь последовательных поэтапных превращений почв урбанизированных территорий как компонентов городской среды при инволюционном процессе условно можно представить следующим образом: «естественные почвы → поверхностно-преобразованные почвы → глубоко-преобразованные почвы», продлив ее параллельно возникшими естественно-техногенными и техногенными образованиями, не являющимися почвами в традиционном представлении, но продолжающими оставаться важными элементами геотехсистемы – «→ почвоподобные образования → непочвенные образования».

Таксономия почв использует традиционный таксономический ряд, разработанный для классификации природных объектов, объективно существующих в природной среде, который не может быть использован для классификации антропогенно созданных объектов, функционирующих в городской среде. Поэтому в качестве структуры для почвоподобных и непочвенных образований предложен новый таксономический ряд. Выбор таксономических единиц и их иерархическая последовательность осуществлялись согласно толкованию в словаре; при этом они были выстроены в такой последовательности, чтобы явиться аналогом таксономической единицы своего уровня в традиционной таксономической структуре [29] (табл. 1, 2).

Таблица 1. Соотношение таксонов разного уровня при классификации почв, почвоподобных и непочвенных образований

Table 1. The ratio of taxa of different levels in the classification of soils, soil-like and non-soil formations

Структура таксономических единиц	Соотношение таксонов разного уровня										
	Таксон	Отдел	Класс	Подкласс	Тип	Надподтип	Подтип	Род	Вид	Разновидность	Ряд
При классификации почв	Категория	Порядок	Ряд	Подразряд	Группа	Надподгруппа	Подгруппа	Серия	Ряд	Форма	Фаза
При классификации почвоподобных и непочвенных образований											

Выделение таксонов разного ранга и их обоснование явились важным этапом классификации. На основании разработок, используемых в национальной классификации, а также обобщения отечественного и международного опыта изучения классификационных построений естественных и антропогенно-преобразованных почв, были предложены критерии, позволяющие учитывать (диагностировать и характеризовать) особенности в разной степени измененных почв урбанизированных территорий на разных таксономических уровнях. Кроме того, автором были разработаны критерии выделения для почвоподобных и непочвенных образований, которые позволили их классифицировать в единой системе с естественными и в разной степени преобразованными почвами, при этом учитывать их генетическую разнородность (см. табл. 2, рис. 3).

Такое методическое решение как использование двух таксономических рядов имеет преимущества: предоставляет возможность классифицировать генетически разнородные объекты в единой системе (почвы, почвоподобные и непочвенные образования); позволяет классифицировать антропогенно-природные объекты (почвоподобные и непочвенные образования) как на самом высоком, так и на самом низком таксономическом уровне; является основанием одновременного отображения почв, почвоподобных и непочвенных образований на картах и картосхемах, а также осуществления генерализации с учетом целей исследований (см. табл. 2).

Таблица 2. Критерии выделения таксонов при классификации естественных и в разной степени антропогенно-трансформированных почв, почвоподобных и непочвенных образований, распространенных на урбанизированных территориях

Table 2. Criteria for the allocation of taxa in the classification of natural and, to varying degrees, anthropogenically transformed soils, soil-like and non-soil formations common in urban areas

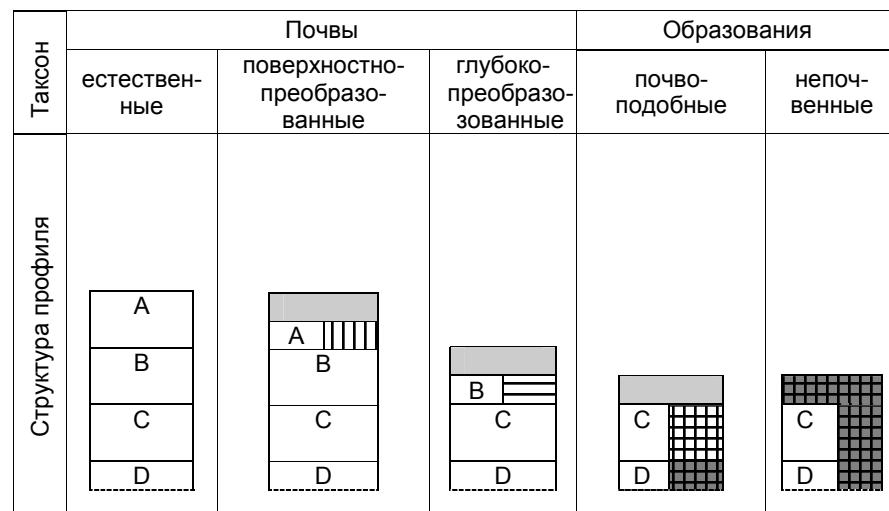
Номенклатурный уровень	Критерий выделения таксона, использованный для естественных почв в классификации почв Беларуси [11, 12]	Критерий выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации			Критерий выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации
		естественных почв	поверхностно-преобразованных почв	глубокопреобразованных почв	
Таксон	На основании генетического представления о почве	На основании степени сохранения генетического почвенного профиля и признаков плодородия			На основании искусственно сформированного профиля и признаков плодородия
		Почвы			
Отдел	По единству основных процессов почвообразования, формирующих главные черты почвенного профиля	По соотношению природных и антропогенных факторов почвообразования			По соотношению природных и антропогенных факторов почвообразования
Класс	По преобладающему фактору почвообразования	По степени и характеру увлажнения почв	По особенностям преобразования профиля и условиям образования основных диагностических горизонтов		По способу антропогенного образования
Подкласс	По признакам главных процессов почвообразования, характеру увлажнения, особенностям почвообразовательного процесса и т. п.)	По сходству основных элементов строения профилей и единству создающих их главных процессов почвообразования	По сходству основных элементов строения профилей и проявлению основного антропогенного фактора		По сходству основных элементов строения профилей и проявлению основного антропогенного фактора

*Продолжение табл. 2
Continuation of table 2*

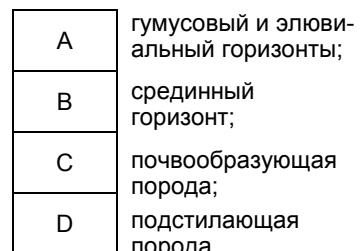
Таксономическая единица	Критерий выделения таксона, использованный для естественных почв в классификации почв Беларуси [11, 12]	Критерий выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации			Критерий выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации
		естественных почв	поверхностно-преобразованных почв	глубоко-преобразованных почв	
типы	На основании единой системы основных (генетических) горизонтов и общности свойств, обусловленных сходством режимов и процессов (почво)-образования	На основании практически неизмененной системы генетических горизонтов в процессе хозяйственной деятельности с сохранением классификационно-генетических признаков естественных почв	На основании единого-образно измененных верхних генетических горизонтов в процессе хозяйственной деятельности с сохранением классификационно-генетических признаков естественных почв	На основании единого-образно измененных генетических горизонтов в процессе хозяйственной деятельности с полной утратой классификационно-генетических признаков естественных почв	На основании единообразно созданных горизонтов в процессе хозяйственной деятельности с полным отсутствием классификационно-генетических признаков естественных почв
Надподтип	На основании режимов увлажнения и степени их проявления в почвах	На основании качественных особенностей поверхностных и срединных горизонтов, проявляющихся в загрязнении			На основании качественных особенностей поверхностных и срединных горизонтов, проявляющихся в загрязнении
Подтип	На основании специфических диагностических признаков, отражающих проявление дополнительных почвообразовательных процессов, проявляющихся качественными различиями в системе генетических горизонтов	По проявлению качественных особенностей срединных естественных генетических горизонтов		По проявлению антропогенно-обусловленных признаков в антропогенно-преобразованных горизонтах	По проявлению антропогенно-обусловленных признаков в антропогенно-образованных горизонтах

Окончание табл. 2
End of table 2

Таксономическая единица	Критерий выделения таксона, использованный для естественных почв в классификации почв Беларуси [11, 12]	Критерий выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации			Таксономическая единица	Критерий выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации
		Естественных почв	поверхностно-преобразованных почв	глубоко-преобразованных почв		
Род	На основе генезиса и характера почвообразующих пород	По генезису и строению почвообразующих пород			Серия	По генезису и строению образующих пород
Разновидность	На основании гранулометрического состава почвообразующих и подстилающих пород	По гранулометрическому составу верхних почвенных горизонтов и ботаническому составу торфяных почв			Форма	На основании гранулометрического состава подстилающих пород



Условный профиль естественной городской почвы и диагностические горизонты



Диагностические горизонты поверхностно- и глубоко-преобразованных почв, почвоподобных и непочвенных образований

- [Solid grey box] насыпной гумусированный или турбированый элювиальный горизонт;
- [Box with vertical lines] абрadiрованный/турбированный элювиальный горизонт;
- [Box with horizontal lines] абрadiрованный/турбированный срединный горизонт;
- [Box with grid] органо-минеральный грунт;
- [Box with dots] минеральный/техногенный грунт

Рис. 3. Степень сохранения и особенности изменения структуры генетического почвенного профиля почв урбанизированных территорий

Fig. 3. The degree of conservation and features of changes in the structure of the genetic soil profile of soils in urban areas

Использование такого подхода в перспективе позволит не только изучать фактическое состояние почвенного покрова, вести учет, систематизировать, классифицировать и картографировать в разной степени антропогенно-трансформированные почвы, но и выработать механизм управления их качеством как компонентом городской среды, проследить за деградацией почв и инволюцией/эволюцией почвоподобных и непочвенных образований во времени и пространстве в пределах урбанизированных территорий, адресно предложить рекомендации по повышению их устойчивости, а также оценить роль почв, почвоподобных и непочвенных образований в формировании качества городской среды.

Типология почв. Традиционно выделение типа почвы основано на единой системе основных (генетических) горизонтов и общности свойств, обусловленных сходством режимов и процессов почвообразования (см. табл. 1). Выделение типа почв урбанизированных территорий в предлагаемой классификации определялось на основании степени сохранения классификационно-генетических признаков естественных почв в профиле и единообразию изменения системы генетических горизонтов в процессе хозяйственной деятельности.

Степень сохранения/изменения генетических горизонтов отражала интенсивность трансформации почвенного генетического профиля, проявляющуюся в глубине его преобразований. Так, при сохранении структуры генетического профиля выделялись естественные почвы, при частичном изменении элювиального горизонта диагностировались поверхностно-преобразованные, если в результате техногенного воздействия затронут срединный горизонт – глубоко-преобразованные почвы. В случае, когда элювиальный и срединный горизонты не идентифицировались, при этом определялись почвообразующие породы (или органо-минеральный материал), то диагностировались почвоподобные, а если генетический профиль разрушен полностью – непочвенные образования (см. рис. 3).

Главным критерием выделения почв на уровне типа для естественных почв явились сохранение и диагностирование основных генетических горизонтов: гумусового (органогенного), элювиального (срединного) и иллювиального, – которые практически не претерпели изменений в строении профиля [13]. При классификации городских почв России в соответствии с КидГР было предложено учитывать в качестве одного из оснований для выделения поверхностно-преобразованных почв урбоседимент, мощностью менее 40 см, а для диагностики глубоко-преобразованных почв – более 50 см [22]. Такое представление было принято в качестве справедливого и использовано в предлагаемой классификации.

Под единообразием изменения системы генетических горизонтов в процессе хозяйственной деятельности мы понимали трансформацию, связанную с определенным способом техногенного воздействия, проявляющуюся в почвенном профиле (резание, перемешивание, насыпание и др.).

Таким образом, определяющее значение при определении типа имели глубина и способ трансформации генетического почвенного профиля. В некотором приближении наглядно это можно отобразить следующим образом (см. рис. 3).

Определение почвоподобных и непочвенных образований на уровне типа основано на выделении единообразно созданных горизонтов в процессе хозяйственной деятельности при полном отсутствии классификационно-генетических признаков естественных почв. При выделении почвоподобных образований важным признаком явились наличие насыпного гумусированного горизонта в профиле (см. табл. 1, рис. 3).

На уровне надподтипа было предложено вместо режимов увлажнения и степени их проявления (применяемое в национальной классификации для естественных почв) учитывать качественные особенности поверхностных и срединных горизонтов, проявляющиеся в загрязнении. Это позволяет характеризовать качество почв урбанизированных территорий через систему показателей, при этом не ломать сложившуюся таксономическую систему. Ранжирование значений состояния окружающей среды осуществлялось согласно методике, описанной в работе [34].

Номенклатура почв. В предлагаемой классификации для названия естественных, а также в разной степени трансформированных под воздействием сельскохозяйственного производства почв использовалась номенклатура национальной классификации [13], для обозначения специфических почв и почвоподобных образований, трансформированных в условиях урбанизации, – разработки российских ученых-почвоведов [22]. Для определения непочвенных образований номенклатура также заимствована [21].

Диагностика почв осуществлялась на основе качественных признаков диагностических горизонтов и их комбинаций с использованием метода описания «центрального образа», а для низших таксонов – на основании количественных критериев, определяемых унифицированными общепринятыми методами. Эталонирование почв на уровне центральных образов позволяет составить представление о разнообразии перечня почв в отечественном почвоведении, сформированное на уровне разнообразия типов почв и даже на более низких уровнях классификации. Использование данной

концепции дает возможность присоединить описанные городские почвы к общей почвенной классификации. Использовались диагностические горизонты [13, 22] и диагностические признаки [13, 15, 22, 24, 25], коррелирующиеся с существующей классификацией почв Беларусь.

Для индентификации использовались диагностические горизонты, их определение, индексировка и характеристика, способные отразить особенности поверхностных горизонтов почв урбанизированных территорий, разработанные для национальной классификации. Среди таких горизонтов следует назвать постэрэзационный, постскальпированный, насыпной (антропогенно-аккумулированный), турбированый, химически и физически загрязненный [13].

Список диагностических горизонтов был дополнен разработками российских специалистов в области диагностики городских почв: урбиком, гумусовым горизонтом с признаками урбопедогенеза, техногенным горизонтом, техногенным рекультивационным горизонтом (с включениями органических остатков), органическим техногенным рекультивационным горизонтом [22].

Использовались преимущественно диагностические признаки почв и их описание, приведенные в национальной классификации [13]. Кроме того, согласно работе [15], ряд заимствованных признаков дополнили: природный минеральный материал мощностью 10–40 см с содержанием гумуса менее 1 %; искусственный материал; органо-минеральный материал с урбондустриальными включениями; материал гумусового или органогенного происхождения.

Из диагностических признаков также применялись разработки WRB: поверхностный высокогумусированный горизонт с содержанием органического вещества более 5 %, мощностью 50 см и более; минеральная почвенная масса легкого гранулометрического состава с низкой емкостью катионного обмена [24, 25].

Индексировка. Для данной классификации мы использовали преимущественно традиционную индексировку, представленную в действующей классификации почв Беларусь [13], дополненную индексами, разработанными зарубежными специалистами специально для почв урбанизированных территорий [15, 22, 24, 25]. На наш взгляд использование в одной системе разработок разных авторов и школ обосновано, так как они учитывают отечественный и международный опыт изучения и диагностики антропогенно-преобразованных почв, выполнены по единым правилам, дополняют систему и способствуют ее интеграции с международной.

Разработанные методические подходы к созданию классификации почв урбанизированных территорий. В качестве объекта исследования и классификации нами были приняты собственно почвы (естественные почвы с урбаногенными признаками, антропогенно-поверхностно-преобразованные и антропогенно-глубоко-преобразованные), почвоподобные образования (то же, что почвоподобные тела, почво-грунты или техноземы), а также непочвенные образования (то же, что и грунты).

Представление об объекте классификации базировалось на обобщении отечественного и международного опыта полевого изучения антропогенных почв, складывалось исходя из полевого описания почвенного профиля, что по существу отражает и описание педона в смысле трехмерного тела.

Главная цель классификации – создание системы, отражающей основные законы антропогенного почвообразования в условиях урбопедогенеза и разделения совокупности почв на непересекающиеся группы, которые могут объективно диагностироваться [8]. Основные задачи классификации – упорядоченное отражение разнообразия почв, почвоподобных и непочвенных образований, их внешних и внутренних связей, а также признаков, имеющих значение для их использования, учета и охраны.

Главным принципом, определяющим теоритическую сущность построения настоящей классификации, является профильно-генетический факторный, который предполагает разделение почв в связи с оценкой их генетического профиля как системы горизонтов, отражающих в своих свойствах формирующие их процессы, обусловленные основными факторами почвообразования. По основанием классификация считается политетической, так как использует комплекс признаков.

Разработка систематики почв урбанизированных территорий была проведена на основе анализа отечественного и международного опыта в области классификаций естественных, городских и антропогенных почв, с учетом общеизвестных принципов классификационных построений: иерархичности, открытости, преемственности, изменчивости и стабильности, – которые также использовались при построении классификации почв России [2] и Беларусь [11–13]. Кроме того, исследования базировались на принципах генетичности, объективности и субъективности, «естественности» и «утилитарности» [8].

Настоящая классификация базируется на использовании иерархического метода, который определяет ее структуру, а в качестве дополнительного использует фасетный метод. В основании – последовательное деление заданного множества объектов на подчиненные подмножества. Также использовались дедуктивный (классификация сверху: деление множества на подмножества) и индуктивный (классификация снизу: путем группировки) методы на основе сравнения множества единичных объектов классификации. Все образуемые подразделения составили единую систему классифи-

кации распределяемого множества со взаимосвязанными подразделениями, все части системы взаимосвязаны и определенным образом соподчинены. Таким образом, использование данного метода определяет структуру построения как иерархическую.

Структура, положенная в основу данной классификации, базируется на разработках Н. И. Смейна и Г. С. Цытран, выполненных для классификации почв Беларуси [11–13], задействует опыт построений, используемый при классификации и диагностике почв России [2] и Москвы [22], с применением концепции городского почвообразования М. Н. Строгоновой в соавторстве [31], а также концепции эталонирования.

Предлагаемые критерии разработаны на основе общепринятых, используемых в национальной классификации, базируются на представлении о естественной генетической классификации. Они представлены в одной системе для почв, почвоподобных и непочвенных образований с учетом таксономической иерархии.

Диагностика почв осуществлялась на основе качественных признаков диагностических горизонтов и их комбинаций с использованием метода описания «центрального образа», а для низших таксонов – на основании количественных критериев, определяемых унифицированными общепринятыми методами. Этапонирование почв на уровне центральных образов позволило составить представление о разнообразии почв в отечественном почвоведении, сформированное на уровне разнообразия типов почв и даже на более низких уровнях классификации. Использование данной концепции дает возможность присоединить описанные городские почвы к общей почвенной классификации. Использовались диагностические горизонты [13, 22] и диагностические признаки [13, 15, 22, 24, 25], коррелирующиеся с существующей классификацией почв Беларуси.

Систематика городских почв использует отечественную номенклатуру, разработанную Н. И. Смейном и Г. С. Цытран при составлении Новой классификации почв Беларуси [11–13], а также номенклатуру, предложенную М. И. Герасимовой, М. Н. Строгановой, Н. В. Можаровой и Т. В. Прокофьевой [31]. Используемая индексировка генетических горизонтов по некоторым почвам является традиционной, частично разработана Н. И. Смейном и Г. С. Цытран, частично заимствована из классификации почв России [2].

Представленная типология почв отражает современный уровень знаний о почвах, распространенных на территории городов. В разрабатываемой системе использована генетическая методология и морфологическая диагностика. Предложенная систематика почв не является целостной классификационной системой. Она представляет собой систематическую общность равноправных таксонов, отражающих разнообразие городских почв, которые подразделяются по традиционной таксономической схеме.

Разработанную систематику городских почв, как любую классификацию почв, нельзя считать завершенным классификационным построением: развитие науки и совершенствование концепций заставят постоянно улучшать ее. Однако необходимо установление некоторого периода времени, в течение которого классификация будет неизменна, по истечении которого будет производиться ее дополнение и исправление. Согласно работам [2, 22], наиболее целесообразным представляется период в 8–10 лет.

Таким образом, представлены методические подходы к созданию единой классификации почв урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации. Данная классификация представляет собой теоретическую фундаментальную разработку, отражающую современный уровень развития науки, основанную на идеях классического почвоведения, опирающуюся на отечественный и мировой опыт, при этом представляющую собой открытую динамичную систему.

Единая классификация почв урбанизированных территорий представлена в настоящем издании в следующей статье [35].

Список используемых источников

1. Фридланд, В. М. Некоторые проблемы классификации почв // Почвоведение. – 1979. – № 7. – С. 112–123.
2. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 235 с.
3. Ковда, В. А. Проблема классификации почв мира / В. А. Ковда, Е. В. Лобова, Б. Г. Розанов // Почвоведение. – 1967. – № 4. – С. 3–22.
4. Лебедева, И. И. Антропогенно-преобразованные почвы в мировых классификационных системах / И. И. Лебедева, В. Д. Тонконогов, М. И. Герасимова // Почвоведение. – 1996. – № 8. – С. 961–967.
5. Ливеровский, Ю. А. Проблемы классификации почв / Ю. А. Ливеровский // Почвоведение. – 1977. – № 7. – С. 39–54.
6. Романкевич, Ю. А. О создании единой классификации почв урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации / Ю. А. Романкевич // Инновационные процессы в области естественно-

- научного и социально-гуманитарного образования : сб. ст. IV Междунар. науч.-практ. конф. / Министерство науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ОГПУ». – Оренбург : Экспресс-печать, 2019. – С. 273–280.
7. Самофалова, И. А. Современные проблемы классификации почв : учеб. пособие / И. А. Самофалова ; М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. – Пермь : Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2012. – 175 с.
 8. Соколов, И. А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. – Новосибирск : Гуманитарные технологии, 2004. – 288 с.
 9. Докучаев, В. В. Классификация почв / В. В. Докучаев // Почвоведение. – 1900. – № 2. – С. 71–84.
 10. Рожков, В. А. Классиология и классификация почв / В. А. Рожков // Почвоведение. – 2012. – № 3. – С. 259–269.
 11. Смеян, Н. И. Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси / Н. И. Смеян, Г. С. Цытрон ; РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2007. – 220 с.
 12. Смеян, Н. И. Новая классификация почв Беларуси / Н. И. Смеян, Г. С. Цытрон // Грунтоизнавство. – 2008. – Т. 9, № 1–2. – С. 157–160.
 13. Полевая диагностика почв Беларуси : практическое пособие / под ред. Г. С. Цытрана. – Минск : Учебный центр подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров землеустроительной и картографо-геодезической службы, 2011. – 175 с.
 14. Агаркова, М. Г. Морфолого-генетические особенности городских почв и их систематика / М. Г. Агаркова, Л. К. Целищева, М. Н. Строганова // Вестник Московского университета. – Сер. 17, Почвоведение. – 1991. – Т. 17, № 2. – С. 11–16.
 15. Апарин, Б. Ф. Классификация городских почв в системе российской и международной классификации почв / Б. Ф. Апарин, Е. Ю Сухачева // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. – 2015. – № 79. – С. 53–72.
 16. Етеревская, Л. В. Систематика и классификация техногенных почв / Л. В. Етеревская, М. Т. Донченко, Л. В. Лехциер // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. / МВ и ССО РСФСР, Урал. гос. ун-т. – Свердловск : УрГУ, 1984. – С. 14–21.
 17. Лебедева, И. И. Возможности включения почв и почвообразующих пород Москвы в общую классификационную систему почв России / И. И. Лебедева, М. И. Герасимова // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 624–628.
 18. Солнцева, Н. П. Морфогенетический анализ техногенно преобразованных почв / Н. П. Солнцева, М. И. Герасимова, Н. Е. Рубилина // Почвоведение. – 1990. – № 8. – С. 124–129.
 19. Строганова, М. Н. Городские почвы: опыт изучения и систематики (на примере почв юго-западной части г. Москвы) / М. Н. Строганова, М. Г. Агаркова // Почвоведение. – 1992. – № 7. – С. 16–24.
 20. Тонконогов, В. Д. О классификации антропогенно-преобразованных почв / В. Д. Тонконогов, Л. Л. Шишов // Почвоведение. – 1990. – № 1. – С. 72–79.
 21. Шишов, Л. Л. Систематика техногенных поверхностных образований / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова / Почвенный институт имени В. В. Докучаева [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://soils.narod.ru/popul/person.html>. – Дата доступа: 10.09.2019.
 22. Прокофьев, Т. В. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию / Т. В. Прокофьев, И. А. Мартыненко, Ф. А. Иванников // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 611–623.
 23. World Reference Base for Soil Resources. – Rome : FAO, 1998. – 88 p.
 24. World reference base for soil resources (2014) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.fao.org/soils-portal/resources/en/>. – Дата доступа: 10.11.2019.
 25. World reference base for soil resources 2006 [Electronic resource]. – Mode of access: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0510e/a0510e00.pdf>. – Дата доступа: 20.09.2019.
 26. Полянов, Б. Б. Основы построения генетической классификации почв / Б. Б. Полянов // Тр. Сов. Секции Международ. Ассоциации почвоведов. – 1933. – Т. 2, ком. 5. – С. 23–33.
 27. Романкевич, Ю. А. Ретроспективная карта почвенного покрова г. Несвижа (Беларусь) для изучения трансформации городских почв / Ю. А. Романкевич // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXI Междунар. симп. им. акад. М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвящ. 130-летию со дня рожд. проф. М. И. Кучина. / Томский политехнический университет. – Томск : Томский политехнический университет, 2017. – Т. I. – С. 812–813.
 28. Хомич, В. С. Геохимическая трансформация природной среды в городах Беларуси : дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.23 / В. С. Хомич ; Белорусский государственный университет. – Минск, 2005. – 350 с.
 29. Философия : энциклопедический словарь / под ред. А. А. Ивина. – М. : Гардарики, 2004. – 1072 с.
 30. Сибирцев, Н. М. Почвоведение / Н. М. Сибирцев. – СПб. : Тип. М. П. Фроловой, 1914. – Т. XVI. – 504 с.
 31. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / М. И. Герасимова [и др.]. – Смоленск : Ойкумена, 2003. – 268 с.
 32. Артамонова, В. С. Почвоподобные образования техногенных ландшафтов: история изучения, терминология, современные аспекты (обзор) / В. С. Артамонова, С. Б. Бортникова // Теоретическая и прикладная экология. – 2017. – № 1. – С. 4–13.
 33. Земляниций, Л. Т. Подготовка городских почво-грунтов для озеленения / Л. Т. Земляниций, И. А. Полтавская, Г. Г. Желдакова. – М., 1962. – 73 с.
 34. Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. – М. : Минприроды России, 1992.
 35. Романкевич Ю. А. Единая классификация почв урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации / Ю. А. Романкевич // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 125–141.

References

1. Fridland V. M. *Nekotorye problemy klassifikacii pochv* [Some problems of soil classification]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 1979, vol. 7, pp. 112–123. (in Russian)
2. *Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of Russian soils]. Smolensk, 2004, 235 p. (in Russian)
3. Kovda V. A., Lobova E. V., Rozanov B. G. *Problema klassifikacii pochv mira* [The problem of world soil classification]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 1967, vol. 4, pp. 3–22. (in Russian)
4. Lebedeva I. I., Tonkonogov V. D., Gerasimova M. I. *Antropogenno-preobrazovannye pochvy v mirovyyh klassifikacionnyh sistemah* [Anthropogenically transformed soils in world classification systems]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 1996, vol. 8, pp. 961–967. (in Russian)
5. Liverovskij Yu. A. *Problemy klassifikacii pochv* [The problems of soil classification]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 1977, vol. 7, pp. 39–54. (in Russian)
6. Romankevich Yu. A. *O sozdaniy edinoj klassifikacii pochv urbanizirovannyh territorij s raznoj stepen'yu antropogennoj transformacii* [On the creation of a unified classification of soils in urban areas with varying degrees of anthropogenic transformation]. *Sbornik statej «Innovacionnye processy v oblasti estestvenno-nauchnogo i social'nogo gumanitarnogo obrazovaniya»* [Proc. "Innovative processes in the field of natural science and socio-humanitarian education"]. Orenburg, 2019, pp. 273–280. (in Russian)
7. Samofalova I. A. *Sovremennye problemy klassifikacii pochv. Uchebnoe posobie* [Modern problems of soil classification. A training manual]. Perm', 2012, 175 p. (in Russian)
8. Sokolov I. A. *Teoreticheskie problemy geneticheskogo pochvovedeniya* [Theoretical problems of genetic soil science]. Novosibirsk, 2004, 288 p. (in Russian)
9. Dokuchaev V. V. *Klassifikaciya pochv* [Soil classification]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 1900, vol. 2, pp. 71–84. (in Russian)
10. Rozhkov V. A. *Klassiologiya i klassifikaciya pochv* [Classology and soil classification]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 2012, vol. 3, pp. 259–269. (in Russian)
11. Smeyan N. I., Cytron G. S. *Klassifikaciya, diagnostika i sistematicheskij spisok pochv Belarusi* [Classification, diagnostics and systematic list of Belarus soils]. Minsk, 2007, 220 p. (in Russian)
12. Smeyan N. I., Cytron G. S. *Novaya klassifikaciya pochv Belarusi* [New soil classification of Belarus]. *Gruntoznavstvo = Soil Science*. Dnepropetrovsk, 2008, vol. 9, no. 1–2, pp. 157–160. (in Russian)
13. *Polevaya diagnostika pochv Belarusi: prakticheskoe posobie* [Field diagnostics of Belarusian soils: a practical guide]. By ed. G. S. Cytron, Minsk, 2011, 175 p. (in Russian)
14. Agarkova M. G. Celishcheva L. K., Stroganova M. N. *Morfologo-geneticheskie osobennosti gorodskikh pochv i ih sistematika* [Morphological and genetic features of urban soils and their systematics]. *Vestnik Mosk. universiteta = Bulletin of the Moscow University*. Moscow, 1991, vol. 17, no. 2, pp. 11–17. (in Russian)
15. Aparin B. F., Suhacheva E. Yu. *Klassifikaciya gorodskikh pochv v sisteme rossijskoj i mezhdunarodnoj klassifikacii pochv* [Classification of urban soils in the system of Russian and international soil classification]. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva = Bulletin of V. V. Dokuchaev Soil Science Institute*. Moscow, 2015, vol. 79, pp. 53–72. (in Russian)
16. Eterevskaya L. V., Donchenko M. T., Lekhcier L. V. *Sistematika i klassifikaciya tekhnogennyh pochv* [Systematics and classification of technogenic soils]. *Rasteniya i promyshlennaya sreda = Plants and Industrial Environment*. Sverdlovsk, 1984, pp. 14–21. (in Russian)
17. Lebedeva I. I., Gerasimova M. I. *Vozmozhnosti vkljucheniya pochv i pochvoobrazuyushchih porod Moskvy v obshchuyu klassifikacionnyu sistemу pochv Rossii* [Possibilities of incorporating Moscow soils and parent rocks in the general classification system of soils in Russia]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 2011, vol. 5, pp. 624–628. (in Russian)
18. Solnceva N. P., Gerasimova M. I., Rubilina N. E. *Morfogeneticheskij analiz tekhnogenno preobrazovannyh pochv* [Morphogenetic analysis of technologically transformed soils]. *Pochvovedenie = Soil Science*. Moscow, 1990, vol. 8, pp. 124–129. (in Russian)
19. Romankevich Yu. A. *Retrospektivnaya karta pochvennogo pokrova g. Nesvizha (Belarus')* dlya izucheniya transformacii gorodskikh pochv [A retrospective map of the soil cover of the city of Nesvizh (Belarus) for studying the transformation of urban soils]. *Problemy geologii i osvoeniya nedr. Trudy Mezhdunar. simpoz* [Proc. Int. Symp. "Problems of geology and subsoil development"]. Tomsk, 2017, vol. 2, pp. 812–813. (in Russian)
20. Tonkonogov V. D., Shishov L. L. *O klassifikacii antropogenno-preobrazovannyh pochv* [On the classification of anthropogenically transformed soils]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 1990, no. 1, pp. 72–79. (in Russian)
21. Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. I., Gerasimova M. I. *Cistematika tekhnogennyh poverhnostnyh obrazovanij* [Systematics of technogenic surface formations]. *Pochvennyj institut im. V. V. Dokuchaeva* [V. V. Dokuchaev Soil Science Institute]. Available at: <http://soils.narod.ru/popul/person.html> (accessed 10 September 2019). (in Russian)
22. Prokofeva T. V., Martynenko I. A., Ivannikov F. A. *Sistematika pochv i pochvoobrazuyushchih porod Moskvy i vozmozhnost' ih vkljucheniya v obshchuyu klassifikaciyu* [The systematics of soils and parent rocks of Moscow and the possibility of their inclusion in the general classification]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 2011, vol. 5, pp. 611–623 (in Russian).
23. World Reference Base for Soil Resources. Rome, FAO, 1998, 88 p.
24. World reference base for soil resources (2014). Available at: <http://www.fao.org/soils-portal/resources/en> (accessed 10 November 2019).
25. World reference base for soil resources 2006. Available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0510e/a0510e00.pdf> (accessed 20 September 2019).

26. Polynov B. B. *Osnovy postroeniya geneticheskoy klassifikacii pochv* [Fundamentals of constructing a genetic classification of soils]. *Trudy Sov. Sekcii Mezhdunarodnoi Asociacii pochvovedov* [Proc. of the Soviet Section of the Int. Association of Soil Scientists], 1933, vol. 2, pp. 23–33. (in Russian)
27. Romankevich Yu. A. *Retrospektivnaya karta pochvennogo pokrova g. Nesvizha (Belarus')* dlya izucheniya transformacii gorodskikh pochv [A retrospective map of the soil cover of the city of Nesvizh (Belarus) for studying the transformation of urban soils]. *Problemy geologii i osvoeniya nedor.* *Trudy Mezhdunar. simpoziuma* [Proc. Int. Symp. "Problems of geology and subsoil development"]. Tomsk, 2017, vol. 2, pp. 812–813. (in Russian)
28. Homich V. S. *Geohimicheskaya transformaciya prirodnoj sredy v gorodah Belarusi. Diss. dokt. geogr. nauk* [Geochemical transformation of the environment in the cities of Belarus. Dr. geography sci. diss.]. Minsk, 2005, 350 p. (in Russian)
29. *Filosofiya: Enciklopedicheskij slovar'* [Philosophy: Encyclopedic Dictionary]. By ed. A. A. Ivina. Moscow, 2004, 1072 p. (in Russian)
30. Sibircev N. M. *Pochvovedenie* [Soil Science]. St. Petersburg, 1914, vol. XVI, 504 p. (in Russian)
31. Gerasimova M. I. *Antropogennye pochvy: genezis, geografiya, rekul'tivaciya* [Anthropogenic soils: genesis, geography, reclamation]. Smolensk, 2003, 268 p. (in Russian)
32. Artamonova V. S., Bortnikova S. B. *Pochvopodobnye obrazovaniya tekhnogenykh landshaftov: istoriya izucheniya, terminologiya, sovremenныe aspekty (obzor)* [Soil-like formations of technogenic landscapes: history of study, terminology, modern aspects (review)]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. Novosibirsk, 2017, vol. 1, pp. 4–13. (in Russian)
33. Zemlyanickij L. T., Poltavskaya I. A., Zheldakova G. G. *Podgotovka gorodskih pochvo-gruntov dlya ozeleneniya* [Preparation of urban soil for landscaping]. Moscow, 1962, 73 p. (in Russian)
34. *Kriterii ocenki ekologicheskoy obstanovki territorii dlya vyvavleniya zon chrezvychajnoj ekologicheskoy situacii i zon ekologicheskogo bedstviya* [Criteria for assessing the environmental situation of the territory to identify areas of environmental emergency and zones of environmental disaster]. Moscow, 1992. (in Russian)
35. Ramankevich J. A. *Edinaya klassifikaciya pochv urbanizirovannyh territorij s raznoj stepen'yu antropogennoj transformacii* [Methodological approaches to creating a unified classification of soils of urbanized territories with varying degrees of anthropogenic transformation]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 125–141. (in Russian)

Информация об авторе

Романкевич Юлия Александровна – науч. сот-
рудник, Ин-т природопользования, НАН Беларуси
(ул. Ф. Скорины, 10, 220014, г. Минск, Республика
Беларусь). E-mail: yulia_romankevich@mail.ru

Information about the author

Julia A. Ramankevich – Researcher, Institute of
Nature Management, National Academy of Sciences of
Belarus (10 F. Skoriny Str., 220014, Minsk, Republic of
Belarus). E-mail: yulia_romankevich@mail.ru

ЕДИНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ С РАЗНОЙ СТЕПЕНЬЮ АНТРОПОГЕННОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Ю. А. Романкевич

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. На основании разработанных методических подходов представлена единая классификация почв урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации. Впервые почвы, почво-подобные и непочвенные образования явились элементами единой генетической классификационной системы.

Классификация выполнена на основе обобщения отечественного и международного опыта, а также натуральных исследований. Призвана дополнить и усовершенствовать национальную классификацию почв.

Ключевые слова: классификация почв; почво-подобные образования; непочвенные образования; почвы урбанизированных территорий.

Для цитирования. Романкевич Ю. А. Единая классификация почв урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 125–141.

UNIFIED CLASSIFICATION OF SOILS IN URBAN AREAS WITH VARYING DEGREES OF ANTHROPOGENIC TRANSFORMATION

J. A. Ramankevich

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

Abstract. A unified classification of soils of urbanized territories with varying degrees of anthropogenic transformation is presented. It is based on developed methodological approaches. For the first time, soils, soil-like and non-soil formations were elements of a single genetic classification system.

The classification is based on a synthesis of domestic and international experience, as well as field research. This classification will complement and improve the national soil classification.

Key words: soil classification; soil-like formations; non-soil formations; soils of urbanized territories.

For citation. Ramankevich J. A. Unified classification of soils in urban areas with varying degrees of anthropogenic transformation. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 125–141.

Введение. В соответствии с экспертным мнением ученых-почвоведов, специализирующихся на изучении и систематике антропогенно-трансформированных почв, Т. В. Прокофьевой, И. А. Мартыненко, Ф. А. Иванникова [1, 2] каждые 8–10 лет классификация почв должна совершенствоваться, учитывая отечественный и международный опыт изучения почв. В контексте того факта, что действующая классификационная модель была разработана и опубликована в 2007–2011 гг. исследования в области систематики почв приобретают особую актуальность.

По данным земельного кадастра площадь городских территорий (115 городов и 80 поселков городского типа) занимает 3,1 % от общей площади нашей страны (6,49 тыс. км²), на которой проживает 78,4 % населения (7,4 млн чел.). При этом в принятой классификации почвы, трансформированные в результате урботехногенеза, не выделяются. Необходимость классификации таких почв и методические подходы к этой проблеме обоснованы в работе [3].

Под «почвами урбанизированных территорий» мы понимали всю совокупность в разной степени антропогенно-преобразованных почв, а также почво-подобные (ППО) и непочвенные (НПО) образования, распространенные на урбанизированных территориях.

Цель статьи – при использовании разработанных методических подходов (опубликованных в предыдущей статье настоящего издания) представить единую классификацию почв урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации.

Главной целью классификации явилось создание системы, отражающей основные законы антропогенного почвообразования в условиях урбопедогенеза и разделения совокупности почв урбанизированных территорий на непересекающиеся группы, которые могут объективно диагностироваться.

Основные задачи классификации – на основании разработанных критериев и обобщения известных признаков, позволяющих определить, диагностировать и систематизировать конкретные отдельные группы объектов (почвы, ППО и НПО образование) на разных таксономических уровнях в единой системе, представить упорядоченное отражение разнообразия почв урбанизированных территорий, их внешних и внутренних связей, а также признаков, имеющих значение для их использования, учета и охраны.

Объектом исследований явились городские территории, предметом – почвенный покров, представленный в разной степени антропогенно-трансформированными почвами, а также ППО и НПО. В качестве модельного был выбран почвенный покров малого города, в пределах которого представлены разные виды антропогенных трансформаций на фоне устоявшегося регламента использования городских территорий в течение длительного времени.

Выделение почв, ППО и НПО в составе почвенного покрова урбанизированных территорий основывалось на представлении о почве как о природном образовании, характеризующемся наличием генетического профиля и обладающим плодородием. На основании этого представления к ППО были отнесены техногенно-природные образования с искусственно сформированным профилем и обладающие плодородием. НПО, в свою очередь, были определены как неприродные, не имеющие профиля и не обладающие плодородием. Таким образом, выделение осуществлялось по критерию генетичности.

Главным принципом, определяющим теоретическую сущность построения настоящей классификации, является профильно-генетический факторный. В основу системы также положены принципы генетичности, объективности и субъективности, «естественности» и «утилитарности» [4, 5]. Кроме того, классификационное построение выполнено с учетом общеизвестных принципов: иерархичности, открытости, преемственности, изменчивости и стабильности, которые также использовались при построении классификации почв России [1, 6] и Беларуси [7–9].

Настоящая классификация базируется на использовании иерархического метода, который определяет ее структуру, в качестве дополнительного использует фасетный метод. Также были применены дедуктивный и индуктивный методы для сравнения множества единичных объектов классификации. В результате применения совокупности методов и методических приемов все образуемые подразделения составили единую систему классификации распределемого множества со взаимосвязанными подразделениями, где все элементы системы скординированы и определенным образом соподчинены.

Предлагаемые критерии разработаны на основе общепринятых, используемых в национальной классификации, базируются на представлении о генетической классификации естественных почв [5, 10–14]. Они представлены в одной системе для почв, ППО и НПО с учетом таксономической иерархии.

Предлагаемая систематика представляет собой реферативную базу, пригодную для описания совокупности изучаемых почв урбанизированных территорий и поверхностных образований на разных уровнях детальности. Это открытая и динамичная система, в которую всегда можно добавить новые элементы: диагностические горизонты, эталонированные профили, диагностические признаки и свойства.

Таксономическая структура,ложенная в основу данной классификации, базируется на разработках Н. И. Смеяна и Г. С. Цыtron, выполненных для классификации почв Беларуси [7–9], использует опыт построений, употребляемый при классификации и диагностике почв России [1] и Москвы [2], с применением концепции городского почвообразования М. И. Герасимовой в соавторстве [15], а также концепции эталонирования.

Для систематизации почв, независимо от их степени антропогенного преобразования, применялась структура национальной классификации, которая выглядит следующим образом: таксон → отдел → класс → подкласс → тип → (надподтип) → подтип → род → вид → разновидность. В качестве структуры для упорядочивания ППО и НПО был разработан и научно обоснован новый таксономический ряд: категория → порядок → разряд → подразряд → группа → надподгруппа → подгруппа → серия → ряд → форма → фаза. Данный методический прием позволил в рамках единой системы классифицировать генетические разнородные объекты, а также учитывать их особенности, определяя место в иерархической системе.

Диагностика почв осуществлялась на основе качественных признаков диагностических горизонтов и их комбинаций с использованием метода описания «центрального образа», а для низших таксонов – на основании количественных критериев, определяемых унифицированными общепринятыми методами. Использовалась концепция эталонирования почв, что позволило на уровне «центральных образов» составить представление о разнообразии почв в отечественном почвоведении, сформированное на уровне разнообразия типов почв на более низких уровнях классификации.

Систематика почв урбанизированных территорий использует отечественную номенклатуру, разработанную Н. И. Смеляном и Г. С. Цытрон при составлении Новой классификации почв Беларуси [7–9], а также номенклатуру, предложенную М. И. Герасимовой, Н. В. Можаровой, Т. В. Прокофьевой, М. Н. Строгановой и М. Г. Агарковой [15, 16], Б. Ф. Апаринным и Е. Ю. Сухачевой [17], В. Д. Тонконоговым, Л. Л. Шишовым [18]. Используемая индексировка генетических горизонтов по некоторым почвам является традиционной, частично разработана Н. И. Смеляном и Г. С. Цытрон, частично заимствована из классификации почв России [1, 6].

Представленная типология почв отражает современный уровень знаний о почвах, распространенных на территории урбанизированных территорий (городов и городских поселений). В разрабатываемой системе использованы генетическая методология и морфологическая диагностика. Предложенная систематика почв не является целостной классификационной системой. Она представляет собой систематическую общность таксонов, отражающих разнообразие антропогенно-трансформированных почв, которые подразделяются по традиционной таксономической схеме.

Разработанную систематику почв урбанизированных территорий, как и любую классификацию почв, нельзя считать завершенным классификационным построением. Предлагаемая классификационная модель выполнена на основании изучения и обобщения отечественного и международного опыта в области создания классификационных моделей и их эксплуатации, посвященного систематизации естественных и антропогенных почв и освещенного в научной литературе [1–26]. В основу разработки положены результаты натурных исследований почв городов и урбанизированных территорий Беларуси [36–38].

Разработанные методические подходы для классификационной модели апробированы при создании картосхемы почв г. Несвижа с разной степенью антропогенной трансформации в масштабе 1:10000, выполненной в целях разработки и реализации Генерального плана г. Несвижа (УП «БелНИИПГрадостроительства»).

Классификация почв урбанизированных территорий. На основании генетического представления о почве [13, 20] на самом высоком таксономическом уровне мы выделили почвы, ППО и НПО. Согласно работам [7–9], все разнообразие, или царство, почв по соотношению природных и антропогенных факторов почвообразования было разделено на три отдела: естественные, антропогенно-естественные и антропогенно-преобразованные с последующим разделением на классы (см. таблицу). Номенклатура для отделов почв заимствована из национальной классификации [7–9].

Классы выделялись по преобладающему фактору почвообразования: для естественных и антропогенно-естественных почв – по степени и характеру их увлажнения, для антропогенно-преобразованных – на основании особенностей антропогенного преобразования профиля и условий образования основных диагностических горизонтов (см. таблицу). В подклассы объединялись почвы на основании сходства основных элементов строения профилей и единству создающих их главных процессов почвообразования, а также на основании проявления антропогенного фактора.

В качестве основной иерархической единицы принят тип. Типовая принадлежность почв предназначена отразить определенное сочетание генетических горизонтов, которые рассматриваются как типодиагностические. Данная ступень выделялась на основании единой системы основных генетических горизонтов и общности свойств, обусловленных сходством режимов и процессов почвообразования. Учитывались изменения системы генетических горизонтов в процессе хозяйственной деятельности и степень сохранности классификационно-генетических признаков естественных почв.

Надподтип – новая таксономическая единица. Введена в структуру классификации почв Н. И. Смеляном и Г. С. Цытрон [7–9] для того, чтобы на едином таксономическом уровне классифицировать режимы увлажнения почв, где данный фактор занимает ведущее место в почвообразовании. Мы сохранили данную ступень в предложенной классификации, но использовали иной принцип выделения – по проявлению качественных особенностей поверхностных и срединных горизонтов, проявляющихся в загрязнении. На уровне подтипа было предложено отразить вид загрязнения с указанием загрязняющего вещества и степени проявления процесса. При этом выявление загрязнения должно быть основано на сравнении результатов аналитических исследований почв с санитарно-гигиеническими или экологическими нормативами.

Выделение подтипов было основано как на качественных особенностях срединных естественных генетических горизонтов, так и на антропогенно-обусловленных признаках в антропогенно-преобразованных горизонтах. Определение почв на подтиповом уровне происходило на основании диагностических признаков.

Классификация почв урбанизированных территорий и особенности выделения таксонов на разных ступенях

Soil classification of urban areas and features of taxon allocation at different steps

		Критерий и особенность выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации				
Таксономическая единица	Критерий выделения таксона, использованный для выделения естественных почв [7–9]	естественных почв	поверхностно-преобразованных почв	глубоко-преобразованных почв	Таксономическая единица	Критерий и особенность выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации
Город	На основании генетического представления о почве	На основании степени сохранения генетического почвенного профиля и признаков плодородия			Почво-подобных образований	непочвенных образований
Отдел	По единству основных процессов почвообразования, формирующих главные черты почвенного профиля	По соотношению природных и антропогенных факторов почвообразования			На основании искусственно сформированного профиля и признаков плодородия	На основании искусственно сформированного профиля и признаков плодородия
Класс	По преобладающему фактору почвообразования	Естественные	Антропогенно-естественные	Антропогенно-преобразованные	Почвоподобные образования	Непочвенные образования
		По степени и характеру увлажнения почв			По соотношению природных и антропогенных факторов почвообразования	
		Автоморфные, полугидроморфные, гидроморфные	Автоморфные, полугидроморфные, осущененные	Техногенные, агрогенные	Естественно-техногенные	Техногенные
		По особенностям преобразования профиля и условиям образования основных диагностических горизонтов			По способу антропогенного образования	
					Техногенно-сконструированные	Техногенно-сформированные

*Продолжение таблицы
Continuation of table*

Таксономическая единица	Критерий выделения таксона, использованный для выделения естественных почв [7–9]	Критерий и особенность выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации			Таксономическая единица	Критерий и особенность выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации			
		естественных почв	поверхностно-преобразованных почв	глубоко-преобразованных почв					
Подкласс	По признакам главных процессов почвообразования, характеру увлажнения, особенностям почвообразовательного процесса и т. п.	По сходству основных элементов строения профилей и единству создающих их главных процессов почвообразования	Дерновые, подзолистые, аллювиальные дерновые; переувлажненные дерновые, переувлажненные подзолистые, переувлажненные аллювиальные; болотно-подзолистые, органогенные	Агро-(урбо)дерновые, агро-(урбо)подзолистые, агро-(урбо)аллювиальные дерновые, переувлажненные агро-(урбо)дерновые; переувлажненные агро-(урбо)подзолистые; переувлажненные агро-(урбо)аллювиальные; остаточно-оглеенные дерновые; остаточно-оглеенные подзолистые; остаточно-оглеенные органогенные	По сходству основных элементов строения профилей и проявлению основного антропогенного фактора	Агродеградированные глубоко измененные; урбодеградированные, глубоко измененные; урбодеградированные неполнопрофильные; урбодеградированные техногенно-заболоченные	Подразряд	По сходству основных элементов строения профилей и проявлению основного антропогенного фактора	Урботехноземы структурные Техноземы бесструктурные

*Продолжение таблицы
Continuation of table*

Таксономическая степень	Критерий выделения таксона, использованный для выделения естественных почв [7–9]	Критерий и особенность выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации			Критерий и особенность выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации	
		естественных почв	поверхностно-преобразованных почв	глубоко-преобразованных почв		
Тип	На основании единой системы основных (генетических) горизонтов и общности свойств, обусловленных сходством режимов и процессов почвообразования	На основании практически неизмененной системы генетических горизонтов в процессе хозяйственной деятельности с сохранением классификационно-генетических признаков естественных почв	На основании единообразно измененных верхних генетических горизонтов в процессе хозяйственной деятельности с сохранением классификационно-генетических признаков естественных почв	На основании единообразно измененных генетических горизонтов в процессе хозяйственной деятельности с полной утратой классификационно-генетических признаков естественных почв	На основании единообразно созданных горизонтов в процессе хозяйственной деятельности с полным отсутствием классификационно-генетических признаков естественных почв	
		Дерново-карбонатные, дерновые, бурые лесные, подзолистые, дерново-подзолистые, дерново-подзолистые заболоченные, аллювиальные дерновые заболачиваемые, торфяно-подзолисто-болотные, торфяно-болотные низинные, торфяно-болотные верховые, аллювиальные-илловато-торфяно-болотные, аллювиальные илловато-перегнойно-глеевые, ...	Агро-(урбо)дерново-карбонатные, агро-(урбо)бурые, агро-(урбо)-..., ...	Агроземы, культуроземы, урбаноземы, абраземы, эрозиземы	Реплан-тоземы, рекреаземы, некроземы, конструкто-земы, урбиквазиземы	Арти фабрикаты, натур фабрикаты

*Продолжение таблицы
Continuation of table*

Таксономическая единица	Критерий выделения таксона, использованный для выделения естественных почв [7–9]	Критерий и особенность выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации			Таксономическая единица	Критерий и особенность выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации
		естественных почв	поверхностно-преобразованных почв	глубоко-преобразованных почв		
Надподтип	На основании режимов увлажнения и степени их проявления в почвах	На основании качественных особенностей поверхностных и срединных горизонтов, проявляющихся в загрязнении			Надподгруппа	По проявлению качественных особенностей поверхностных и срединных горизонтов, проявляющихся в загрязнении
		По виду загрязнения Химически, физически, биологически: тяжелыми металлами, различными ядохимикатами, углеводородами, радионуклидами, патогенными микроорганизмами и пр. С указанием загрязнителя и степени проявления загрязнения				
Подтип	На основании специфических диагностических признаков, отражающих проявление дополнительных почвообразовательных процессов, проявляющихся качественными отличиями в системе генетических горизонтов	По проявлению качественных особенностей срединных естественных генетических горизонтов		По проявлению антропогенно-обусловленных признаков в антропогенно-преобразованных горизонтах	Подгруппа	По проявлению антропогенно-обусловленных признаков в антропогенно-образованных горизонтах
		Выщелоченные, оподзоленные, со вторым гумусовым горизонтом, языковатые, псевдофиброзные, ортзандровые, остаточно-карбонатные, перегнойные, оруденельные, иллювиально-(железисто)-гумусовые, омергелевые, типичные		Турбированные, рекультивируемые, погребенные		

*Продолжение таблицы
Continuation of table*

Таксономическая единица	Критерий выделения таксона, использованный для выделения естественных почв [7–9]	Критерий и особенность выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации			Таксономическая единица	Критерий и особенность выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации
		естественных почв	поверхностно-преобразованных почв	глубоко-преобразованных почв		
Род	На основе генезиса и характера почвообразующих пород	По генезису почвообразующих пород Моренные, озерно-ледниковые, водоно-ледниковые, лёссовидные, лёссы, древнеаллювиальные, аллювиальные, золовые и делювиальные, коренные известковые, пресноводные известковые или органогенные почвы		По генезису и строению почвообразующих пород Однородное строение, подстилаемые связными, рыхлыми или карбонатными породами (для агро- и дегроторфоземов, рекультивированных торфяных почв). Бесслойные, однослойные, двухслойные (для рекультивированных минеральных почв)	По генезису почвообразующих пород Природные почвообразующие породы или антропогенный грунт	
		По строению почвообразующих пород (для минеральных почв) Однородное строение, подстилаемые глинами и тяжелыми суглинками, связными, рыхлыми, известковыми породами или торфом			По строению природных почвообразующих пород Однородное строение, подстилаемые глинами и тяжелыми суглинками, связными, рыхлыми, известковыми породами или торфом	
					По строению антропогенного грунта Бесслойный, однослойный, многослойный	

Окончание таблицы
End of table

Таксономическая единица	Критерий выделения таксона, использованный для выделения естественных почв [7–9]	Критерий и особенность выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации			Таксономическая единица	Критерий и особенность выделения таксонов на разных иерархических ступенях классификации		
		естественных почв	поверхностно-преобразованных почв	глубоко-преобразованных почв				
Вид	По степени проявления процессов почвообразования	По количественным показателям степени выраженности признаков, определяющих более высокие уровни классификации			Ряд	По количественным показателям степени выраженности антропогенных признаков, определяющих более высокие уровни классификации		
		По месту и глубине оглеения в профиле, по степени насыщенности почвенного поглощающего комплекса, по нижней границе элювиального горизонта, по глубине вскипания от HCl						
		По мощности гумусового горизонта, содержанию гумуса в гумусовом горизонте, по степени разложения торфа, по мощности торфяной залежи	По содержанию органического вещества в агроторфяно-минеральном горизонте, по мощности пахотного горизонта, по содержанию гумуса в пахотном горизонте, по степени эродированности, по мощности репланта (насыпного слоя), по мощности загрязненного слоя					
Разновидность	На основании гранулометрического состава почвообразующих и подстилающих пород	По гранулометрическому составу верхних почвенных горизонтов			Форма	На основании гранулометрического состава подстилающих пород (в случае природных почвообразующих пород)		
		Глинистые; тяжело-, средне-, легкосуглинистые; связно-, рыхлосупесчаные; связно-, рыхлопесчаные; иловатые; торфяно-суглинистые, супесчаные, песчаные (для минеральных почв и дегроторфоземов остаточно-оглеенных)						
		По ботаническому составу торфяных почв				Глинистые, суглинистые, супесчаные, иловатые, торфяно-суглинистые, песчаные		
		Древесный; древесно-осоковый, тростниковый, гипновый, сфагновый; сосново-пушицевый, хвощевый, тростниковый, тростниково-осоковый, осоково-гипновый, осоково-сфагновый, вахтовый, пушицевый, пушицово-сфагновый, шейхцериевый, гипновый, сфагновый, моховый верховой (фускум, магелланикум) и др.						

Используемые подходы к выделению типодиагностических горизонтов и диагностических признаков, представленные Н. И. Смеяном и Г. С. Цытрон, базируются на разработках, полученных в ходе создания классификации почв Беларуси, близки к принципам, установленным в России, FAO-WRB и др. [1, 6, 15, 19, 25, 28, 32, 35]. Однако, исходя из специфики почвообразования на территории Беларуси и особенностей городских почв, используемые критерии выделения горизонтов и признаков во многом не совпадают. Для классификации почв урбанизированных территорий мы использовали типодиагностические горизонты и диагностические признаки, разработанные Н. И. Смеяном и Г. С. Цытрон, с учетом международного опыта [1, 2, 6, 17, 28, 32, 35 и др.] и специфики почвообразования на территории Беларуси.

Роды почв выделялись на основе генезиса и характера строения почвообразующих пород; виды – по количественным показателям степени выраженности признаков, определяющих более высокие уровни классификации; разновидности – по гранулометрическому и ботаническому составу почвообразующих пород.

Как уже было отмечено выше, все разнообразие почв республики объединено в три отдела. Почвы, генетические горизонты и свойства которых практически не претерпели изменений под влиянием урбо- и агротехногенеза, были отнесены нами к естественным. Главным критерием выделения почв этого отдела явилось сохранение и диагностирование основных генетических горизонтов: гумусового (органогенного), элювиального (срединного) и иллювиального. Такие почвы распространены под лесами, могут быть представлены под лесопарками, находящимися в составе городских земель, а также в пределах неосвоенных водосборов естественных водных объектов. Свидетельства сохранения естественных почв в городах широко представлены в научной литературе, посвященной обобщению значительного объема фактических данных, полученных в ходе полевых исследований почв урбанизированных территорий [36–38], поэтому должны быть представлены и учтены в качестве таксономической единицы в классификации почв урбанизированных территорий (см. таблицу).

Отдел антропогенно-естественных почв объединил почвы, которые претерпели изменения в процессе хозяйственной деятельности человека, но сохранили классификационно-генетические признаки естественных почв. Почвы этого отдела характеризуются наличием в профиле урботехногенно-преобразованного (урбика, гумусового горизонта с признаками урбопедогенеза) или агротехногенно-преобразованного (агрогумусового, агроторфяного) горизонта, сформировавшихся в пределах приповерхностных горизонтов и залегающих на остаточной мощности поверхностного или срединных типодиагностических горизонтов исходных естественных почв [2, 7, 8]. При классификации городских почв России в соответствии с КидПР было предложено учитывать урбоседимент мощностью менее 40 см как одно из оснований для выделения почв данного отдела [2].

Антропогенно-преобразованные почвы – это глубоко-преобразованные почвы, возникшие в результате глубокой трансформации профиля и свойств естественных и антропогенно-естественных почв под влиянием хозяйственной деятельности человека и утратившие свои классификационно-генетические признаки. Характерной особенностью является наличие в профиле антропогенно-преобразованного горизонта, сформированного на месте нескольких верхних естественных диагностических горизонтов и залегающего непосредственно на срединном горизонте, почвообразующей или подстилающей породе [2, 7, 8]. При этом общая мощность антропогенных отложений составляет более 50 см [2] (см. таблицу).

В зависимости от характера проявления процессов почвообразования, обусловленных степенью переувлажнения, в отделе *естественных почв* было выделено три класса – автоморфные, полугидроморфные и гидроморфные почвы с последующим разделением на подклассы, исходя из сходства основных элементов строения профилей и единства создающих их главных процессов почвообразования. Так, в классе автоморфных выделяются следующие подклассы почв: дерновые, подзолистые, аллювиальные дерновые; в классе полугидроморфных: переувлажненные дерновые, переувлажненные подзолистые и переувлажненные аллювиальные; в классе гидроморфных – болотно-подзолистые и органогенные [7, 8].

Отдел антропогенно-естественных почв также делится на три класса: автоморфные, полуgidromорфные и осущеные, с выделением подклассов в автоморфных – агро- или урбодерновые, агро- или урбоподзолистые, агро- или урбоаллювиальные дерновые; в полугидроморфном – переувлажненные агро- или урбодерновые, переувлажненные агро- или урбоподзолистые и переувлажненные агро- или урбоаллювиальные; в классе осущеных: остаточно-оглеенные дерновые, остаточно-оглеенные подзолистые и остаточно-оглеенные органогенные [3, 7, 8].

Отдел антропогенно-преобразованных почв представлен двумя классами: агрогенные и техногенные почвы. В классе агрогенных почв выделяются агро- и урбодеградированные глубоко измененными подклассами, а класс техногенных почв представлен следующими подклассами: урбодеградированные неполнопрофильные и урбодеградированные техногенно-заболоченные.

Для типового определения почв использовалось 36 типодиагностических горизонтов [7, 17] и 26 диагностических признаков [2, 7, 17, 35], которые являются качественной характеристикой диагностических горизонтов и служат для подтипового определения почв или типового при одном типодиагностическом горизонте.

Среди типов естественных почв в зависимости от характера увлажнения выделялись:

дерново-карбонатные, дерновые, бурые лесные, подзолистые, дерново-подзолистые, аллювиальные неразвитые, аллювиальные дерновые;

дерново-карбонатные заболачиваемые, дерновые заболачиваемые, подзолистые заболачиваемые, дерново-подзолистые заболоченные, аллювиальные дерновые заболачиваемые;

торфяно-подзолисто-болотные, торфяно-болотные низинные, торфяно-болотные переходные, торфяно-болотные верховые, аллювиальные-илловато-торфяно-болотные, аллювиальные илловато-перегнойно-глеевые.

Каждому типу отдела естественных почв соответствует тип отдела антропогенно-естественных почв, только с приставкой «агро» или «урбо». Такой подход также встречается в работах Т. В. Прокофьевой в соавторстве [2]), Б. Ф. Апарина и Е. Ю. Сухачевой [17], М. И. Герасимовой в соавторстве [15].

Типы для антропогенно-преобразованных почв выделялись на основании единообразно измененных генетических горизонтов в процессе хозяйственной деятельности с полной утратой классификационно-генетических признаков естественных почв: урбаноземы, культуроземы (представление сформировано Т. В. Прокофьевой в соавторстве [2]), а также агроземы и абрауземы, согласно работе Б. Ф. Апарина и Е. Ю. Сухачевой [17].

Надподтипы выделялись на основании данных, полученных при проведении полевых и аналитических исследований. По проявлению качественных особенностей срединных горизонтов, проявляющихся в загрязнении на данном таксономическом уровне представлены: химически, физически и биологически загрязненные образования. Загрязненными считались почвы с превышением содержания загрязняющих веществ согласно санитарно-гигиеническим (ПДК/ОДК) или разрабатываемым в настоящее время экологическим нормативам. Согласно ранжированию значений состояния окружающей природной среды, выявленные ореолы с превышением допустимых уровней в 5 раз и более следует отнести к зонам с чрезвычайной экологической ситуацией или зонам экологического бедствия.

На данной ступени при выявлении загрязняющего вещества предусмотрено указание его названия (тяжелые металлы, нефть и нефтепродукты, пестициды, радиоактивные вещества; микробиологическое, гельминтологическое или энтомологическое загрязнение; строительный мусор, твердые бытовые отходы и пр.)

Подтипы естественных и антропогенно-естественных почв в зависимости от особенностей срединных генетических горизонтов представлены выщелоченными, оподзоленными, со вторым гумусовым горизонтом, языковатыми, псевдофибривыми, ортандровыми, остаточно-карбонатными, перегнойными, оруденелыми, иллювиально-(железисто)-гумусовыми, омергелеванными, типичными почвами. Подтипы выделены на основании описания диагностических горизонтов, представленных в национальной классификации [7]. Объединение в подтипы антропогенно-преобразованных почв выполнено на основании проявления их антропогенно-обусловленных признаков, таких как турбированые, рекультивированные, погребенные, согласно представлению, согласно представлениям Т. В. Прокофьевой в соавторстве [2]).

Таксономический ранг на уровне рода для естественных и антропогенно-естественных почв выделялся по генезису почвообразующих пород и представлен моренными, озерно-ледниковыми, водоно-ледниковыми, лёссовидными, лёссами, древнеаллювиальными, аллювиальными, эоловыми и делювиальными, коренными известковыми, пресноводными известковыми или органогенными почвами. Также в рамках данной ступени для минеральных почв возможно разделение на основании строения почвообразующих пород: однородное строение, подстилаемые глинами и тяжелыми суглинками, связными, рыхлыми, известковыми породами или торфом.

Предусмотрено выделение родов антропогенно-преобразованных почв для агроторфяных и деградированных торфяных, рекультивированных торфяных почв: однородное строение, подстилаемые связными, рыхлыми или карбонатными породами; для рекультивированных минеральных почв – бесслойное, одно- или двухслойное.

Виды выделялись в зависимости от степени выраженности признаков, определяющих более высокие уровни классификации: по мощности гумусового или пахотного горизонтов, по содержанию органического вещества в агроторфяно-минеральном горизонте, содержанию гумуса в гумусовом или пахотном горизонтах, степени насыщенности почвенного поглощающего комплекса, глубине нижней границы элювиального горизонта, глубине и месту оглеения профиля, степени эродированности, мощности торфяной залежи, степени разложения торфа и органического вещества, степени минера-

лизации органического вещества, глубине вскипания от HCl, мощности репланта, мощности загрязненного слоя и др.

Разновидности по гранулометрическому составу верхних почвенных горизонтов: глинистые; тяжело-, средне-, легкосуглинистые; связно-, рыхлосупесчаные; связно-, рыхлопесчаные; иловатые; торфяно-суглинистые, супесчаные, песчаные (для минеральных почв и дегроторфоземов остаточно-оглеенных). По ботаническому составу торфяных почв: древесный; древесно-осоковый, тростниковый, гипновый, сфагновый; сосново-пушицевый, хвошевый, тростниковый, тростниково-осоковый, осоково-гипновый, осоково-сфагновый, вахтовый, пушицевый, пушицово-сфагновый, шейхцериевый, гипновый, сфагновый, моховый верховой (фускум, магелланикум) и др.

Всего в классификации почв было выделено 3 отдела, 5 классов, 27 подклассов, в которых насчитывается 64 типа почв.

Таким образом, в классификации в систематизированном виде отражено все реально существующее разнообразие почв урбанизированных территорий. Структура построения такова, что по мере накопления новых данных в нее могут быть включены и новые почвенные объекты, причем не ломая самой системы.

Для идентификации в полевых условиях исследуемых почв и унификации их описания использовались специфические типодиагностические горизонты и их индексировка, для определения подтипового уровня – специфические диагностические признаки.

Значительная часть номенклатуры, используемой в данной классификации городских почв, сохранена и является традиционной (почвы естественного отдела). Часть номенклатуры заимствована из новой классификации почв Беларуси Н. И. Смеяна и Г. С. Цытрон. Некоторые названия заимствованы из классификации почв России [1, 6] (почвы антропогенно-естественного отдела) или созданы нами и представляют собой производные от формирующих их факторов (антропогенно-преобразованные почвы).

Классификация почвоподобных и непочвенных образований. Кроме почв, в разной степени преобразованных, в пределах урбанизированных территорий распространены ППО и НПО. Важной особенностью развития городского пространства является сокращение площадей естественных и преобразованных почв за счет увеличения доли ППО и НПО.

В качестве отдельной единицы классификации на самом высоком уровне (таксон) мы выделили **почвоподобные городские образования**, под которыми будем понимать целенаправленно сконструированные почвоподобные тела, состоящие из природного субстрата, характеризуемые гумусированностью и структурностью верхних горизонтов, подстилаемые природными почвообразующими породами или антропогенным грунтом.

Определенное место в нашей классификации заняли **непочвенные образования** – техногенно-созданные грунты собственно городского или промышленного происхождения, содержащие остаточные продукты хозяйственной деятельности. Могут быть представлены как бесструктурным органоминеральным материалом, так и специфическим новообразованным субстратом, не встречающимся в природной среде. Могут включать твердые бытовые отходы городских свалок, инертные и токсичные отходы производства (шлаки, золы, иловые осадки со станций аэрации, сожженный грунт и т. д.) [18].

Существующая классификация почв Беларуси [7–9] была разработана для естественных и преобразованных почв, их систематика базируется на принципах генетичности почвенного профиля, а также природных свойствах и функциях почвы. Таксоны выделяются по принципу сходств и различий в свойствах и функциях таких почв, независимо от возможностей их использования для каких-либо определенных целей. Таким образом, эта таксономия не может быть использована для ППО и НПО.

Для классификации ППО и НПО, определения тем самым их места в систематике почв урбанизированных территорий была создана модель или новая иерархическая система, основанная на тех же принципах, что и общепринятая классификация, в которой каждая ступень, с одной стороны, равнозначна по значению признаков, а с другой – учитывает особенности техногенно-природных и техногенных образований, при этом используя собственную таксономию, разработанную специально для ППО и НПО.

Итак, как уже отмечалось выше, в качестве структуры для систематизации ППО и НПО был предложен следующий таксономический ряд: категория → порядок → разряд → подразряд → группа → надподгруппа → подгруппа → серия → ряд → форма → фаза. В соответствии с общими методами классификации при выборе названия таксона для каждой ступени учитывался его ранг в иерархической системе, объем философского понятия и соответствие таксону такого же порядка в классификации естественных и преобразованных почв [3].

Таким образом, среди таксономических единиц высшего ранга мы выделили категорию, порядок и разряд. В философии категория традиционно обозначает предельно общие, фундаментальные понятия, отражающие наиболее существенные, закономерные связи и отношения реальной действи-

тельности и познания. Далее в порядок были объединены разряды, к каждому из которых, в свою очередь, отнесли группу однородных предметов, объединенных общностью каких-либо признаков. Тип и группа явились таксонами среднего ранга. При этом группа (фр. *grouppe*, от итал. *gruppo*) представляет собой соединение нескольких предметов как бы в одно целое. Серия, ряд, форма, фаза, как и род, вид, разновидность и разряд – это таксономические единицы низшего ранга. Серия и фаза, согласно классификации почв США, были предложены в качестве низших таксонов.

В результате использования вышепредставленной и научно обоснованной таксономии мы построили иерархическую систему, критерии которой отражены в таблице. Итак, на самом высшем таксономическом уровне нашей классификации (категории) наравне с почвами мы выделили ППО и НПО. Выделение порядка (отдела) в качестве таксономической единицы высокого ранга осуществлялось на основании соотношения природных и антропогенных факторов почвообразования и было представлено естественно-техногенными и техногенными образованиями. Далее по способу антропогенного образования были определены разряды (классы) техногенно-сконструированных и техногенно-сформированных образований.

На уровне подразряда (подкласса) по сходству основных элементов строения профилей и проявлению основного антропогенного фактора нами были выделены урботехноземы структурные и техноземы бесструктурные.

Наличие единообразно созданных горизонтов в процессе хозяйственной деятельности с полным отсутствием классификационно-генетических признаков естественных почв явилось основанием для объединения образований в группы (типы), представленные реплантоземами, рекреаземами, конструктоземами и некроземами, представление о которых сформировано Т. В. Прокофьевой в соавторстве [2], а также урбиквазиземами, артифабрикатами и натурфабрикатами (согласно В. Д. Тонконогову и Л. Л. Шишову [18]).

В качестве критерия для выделения надподгруппы был использован тот же принцип, что и для почв на уровне надподтипа.

Подгруппа (подтип) была определена по проявлению антропогенно-обусловленных признаков в антропогенно-образованных горизонтах: минеральные, органические или смешанные (на основании вещественного состава слагающего материала); насыпные, срезанные, поверхностно-гумусированные.

Серия (род) выделялась на основе генезиса образующих пород (природные почвообразующие породы или антропогенный грунт). Учитывались особенности строения почвообразующих пород (однородное строение, подстилаемое глинами и тяжелыми суглинками, связными, рыхлыми, известковыми породами или торфом) и антропогенного грунта (бесслойный, однослоистый, многослойный).

Ряд (вид) объединил образования на основе количественных показателей степени выраженности антропогенных признаков, определяющих более высокие уровни классификации: по мощности репланта и загрязненного слоя.

Форма (разновидность) была определена в зависимости от гранулометрического состава подстилающих пород (в случае природных почвообразующих пород).

Таким образом, ППО были выделены на уровне категории (таксона), отнесены к порядку естественно-техногенных, разряду техногенно-сконструированных, подразряду урботехноземов структурных. На уровне группы сформировано представление о 5 таксономических единицах, таких как реплантоземы, рекреаземы, некроземы, конструктоземы, урбиквазиземы.

НПО также выделялись на уровне категории (таксона) и были отнесены к порядку техногенных, разряду техногенно-сформированных, подразряду техноземов бесструктурных. На уровне группы сформировано представление об артифабрикатах и натурфабрикатах.

Согласно данным таблицы, всего в классификации почв урбанизированных территорий Беларуси выделено:

3 таксона (категории): почвы, ППО и НПО;

5 отделов (порядков): естественные, антропогенно-естественные и антропогенно-преобразованные (для почв), а также естественно-техногенные (для ППО) и техногенные (для НПО);

8 классов (разрядов): автоморфные, полигидроморфные, гидроморфные и осущенные, а также техногенные и агрогенные (для почв), техногенно-сконструированные (для ППО) и техногенно-сформированные (для НПО);

29 подклассов (подразрядов), из них 8 (для естественных почв), 15 (для поверхностно-преобразованных), 4 (для глубоко-преобразованных), 1 (для ППО) и 1 (для НПО) (см. таблицу).

71 тип (группа), из них 18 (для естественных), 41 (для поверхностно-преобразованных, включая урбопочвы – 22 и агропочвы – 19), 5 (для глубоко-преобразованных), 5 (для ППО) и 2 (для НПО).

Таким образом, в классификации в систематизированном виде отражено все реально существующее разнообразие почв урбанизированных территорий. Структура построения такова, что по мере накопления новых данных в нее могут быть включены новые почвенные объекты, не ломая самой системы.

Для идентификации в полевых условиях исследуемых почв и унификации их описания использовались специфические типодиагностические горизонты и их индексировка, для определения подтипового уровня – специфические диагностические признаки.

Названия разработаны на базе общепринятой номенклатуры для естественных почв, с применением номенклатурного списка для почв, преобразованных в результате сельскохозяйственного производства [8, 9], антропогенно-преобразованных почв [2]. Предложенные названия на уровне фаз отражают степень, глубину и качество преобразования профиля, содержат дополнительную информацию об особенностях трансформаций на всех уровнях, включая даже самые низкие таксоны. Кроме того, для антропогенно-преобразованных почв в названии содержатся сведения о естественных почвах, на базе которых они были образованы. Такое решение является взвешенным и научно обоснованным, базируется на представлении о том, что антропогенно-преобразованные почвы, являясь трансформированными, функционируют в городской среде как почвы [15] и, следовательно, нуждаются в изучении и охране. Таким образом, предложенные формулировки в качестве названий фаз являются оригинальными, разработаны автором самостоятельно и используются впервые.

Выводы. Предложенная классификационная система отражает основные законы почвообразования, разделяет совокупности почв на непересекающиеся группы, которые объективно диагностируются, и включает систематику, таксономию, диагностику, номенклатуру.

Объект классификации четко определен, учитывает все разнообразие городских почв в широком понимании, принимает во внимание разную степень и глубину их антропогенной преобразованности.

Представление об объекте классификации базировалось на обобщении отечественного и международного опыта полевого изучения антропогенных почв, складывалось исходя из полевого описания почвенного профиля, что по существу отражает и описание педона в смысле трехмерного тела.

При построении классификационной системы использованы генетическая методология и морфологическая диагностика, профильный и сравнительно-географический методы, комплексный подход и генетический принцип.

Классификационная схема и принципы выделения таксономических единиц научно обоснованы. Осуществлен выбор критериев, по которым осуществлена классификация почв, а также их идентификация, оценка значимости, группировка и ранжирование. Согласно принципам построения, система опирается на основные свойства и режимы почв, учитывает процессы и условия почвообразования; строится, исходя из строго научной системы таксономических единиц; учитывает признаки и свойства, приобретенные почвами в результате хозяйственной деятельности; раскрывает производственные особенности почв и способствует их сохранению.

Представлена единая иерархическая генетическая система, основанная на объединении в группы по генезису, строению, важнейшим свойствам и плодородию изначально разных объектов в контексте понимания традиционного определения почвы, сформулированного В. В. Докучаевым: почвы (естественные почвы), «скорее почвы» (слабо трансформированные), «почти непочвы» (сильно трансформированные), «непочвы» (почвоподобные образования), «совсем непочвы» (непочвенные образования). Для этого предложено использовать как традиционную так и новую, научно обоснованную таксономическую схему (категория, порядок, разряд, подразряд, группа, надгруппа, подгруппа, серия, ряд, форма, фаза).

Предложены и применены методические подходы к систематике почв, ППО и НПО в единой иерархической системе.

Разработаны и обоснованы принципы и критерии выделения таксонов разного ранга в единой системе для почв (в разной степени трансформированных), а также ППО и НПО, определено их место в иерархической системе.

Систематическая общность отражает разнообразие антропогенно-преобразованных почв, при этом принимает их в качестве таксонов, учитывая особенности антропогенной трансформации на разных уровнях иерархического построения.

Предложен способ учитывать степень загрязнения почв урбанизированных территорий в рамках концепции генетической классификации (на уровне надпотипа).

Таким, образом, на основании применения разработанных методических подходов (опубликованных в предыдущей статье настоящего издания), представлена теоретическая фундаментальная разработка – единая классификация почв урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации, отражающая современный уровень развития науки, основанная на идеях классического почвоведения, опирающаяся на мировой и отечественный опыт, а также натурные исследования, при этом представляющая собой открытую упорядоченную динамичную систему.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю В. С. Хомичу и академику Н. Н. Бамбалову за ценные советы и рекомендации при создании статей.

Acknowledgements. The author is sincerely grateful to supervisor V. S. Khomich and academician N. N. Bambalov for valuable advice and recommendations when creating articles.

Список используемых источников

1. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 235 с.
2. Прокофьева, Т. В. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию / Т. В. Прокофьева, И. А. Мартыненко, Ф. А. Иванников // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 611–623.
3. Романкевич, Ю. А. Методические подходы к созданию единой классификации почв урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации / Ю. А. Романкевич // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 108–124.
4. Глазовская, М. А. Принципы классификации почв мира // Почвоведение. – 1966. – № 8. – С. 1–22.
5. Соколов, И. А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. – Новосибирск : Гуманитарные технологии, 2004. – 288 с.
6. Классификация почв России / сост. Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. Н. Лебедева. – М., 2000. – 235 с.
7. Полевая диагностика почв Беларуси : практическое пособие / под ред. Г. С. Цытрон. – Минск : Учебный центр подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров землеустроительной и картографо-геодезической службы, 2011. – 175 с.
8. Смеян, Н. И. Классификация, диагностика и систематический список почв Беларуси / Н. И. Смеян, Г. С. Цытрон ; РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2007. – 220 с.
9. Смеян, Н. И. Новая классификация почв Беларуси / Н. И. Смеян, Г. С. Цытрон / Грунтознавство. – 2008. – Т. 9, № 1–2. – С. 157–160.
10. Волобуев, В. Р. Об основах генетической классификации почв // Почвоведение. – 1964. – № 12. – С. 1–15.
11. Коссович, П. С. К вопросу о генезисе почв и об основах для генетической почвенной классификации // Журнал опытной агрономии. – СПб, 1906. – Т. 7. – С. 478–501.
12. Полянов, Б. Б. Основы построения генетической классификации почв // Тр. Сов. Секции Междунар. Ассоциации почвоведов. – 1933. – Т. 2, ком. 5. – С. 23–33.
13. Сибирцев, Н. М. Об основаниях генетической классификации почв // Избр. соч. – М. : Сельхозгиз, 1953. – Т. 2. – С. 271–293.
14. Соколов, И. А. Базовая субстантивно-генетическая классификация почв // Почвоведение. – 1991. – № 3. – С. 107–121.
15. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация / М. И. Герасимова [и др.]. – Смоленск : Ойкумена, 2003. – 268 с.
16. Строганова, М. Н. Городские почвы: опыт изучения и систематики (на примере почв юго-западной части г. Москвы) / М. Н. Строганова, М. Г. Агаркова // Почвоведение. – 1992. – № 7. – С. 16–24.
17. Апарин, Б. Ф. Классификация городских почв в системе российской и международной классификации почв / Б. Ф. Апарин, Е. Ю Сухачева // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. – 2015. – № 79. – С. 53–72.
18. Тонконогов, В. Д. О классификации антропогенно-преобразованных почв / В. Д. Тонконогов, Л. Л. Шишов // Почвоведение. – 1990. – № 1 – С. 72–79.
19. Агаркова, М. Г. Морфолого-генетические особенности городских почв и их систематика / М. Г. Агаркова, Л. К. Целищева, М. Н. Строганова // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, Почвоведение. – 1991. – Т. 17, № 2. – С. 11–16.
20. Докучаев, В. В. Классификация почв // Почвоведение. – 1900. – № 2. – С. 71–84.
21. Етеревская, Л. В. Систематика и классификация техногенных почв / Л. В. Етеревская, М. Т. Донченко, Л. В. Лехциер // Растения и промышленная среда : сб. науч. тр. ; МВ и ССО РСФСР, Урал. гос. ун-т. – Свердловск : УрГУ, 1984. – С. 14–21.
22. Келеберда, Т. Н. Интенсификация почвенных процессов в техногенных ландшафтах и вопросы систематики образованных почв / Т. Н. Келеберда, А. Н. Другов // Тез. докл. I Делегатского съезда почвоведов и агрохимиков Украинской ССР. – Днепропетровск, 1982. – С. 91–92.
23. Лебедева, И. И. Антропогенно-преобразованные почвы в мировых классификационных системах / И. И. Лебедева, В. Д. Тонконогов, М. И. Герасимова // Почвоведение. – 1996. – № 8. – С. 961–967.
24. Лебедева, И. И. Возможности включения почв и почвообразующих пород Москвы в общую классификационную систему почв России / И. И. Лебедева, М. И. Герасимова // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 624–628.
25. Свойства городских почв (на примере г. Москвы) / В. Г. Мамонтов, А. И. Филатова, С. С. Комаристая, О. Б. Рябова, С. Н. Смарыгин, Р. В. Черничкин // Плодородие. – 2016. – № 6 (93). – С. 56–58.
26. Романкевич, Ю. А. О создании единой классификации почв урбанизированных территорий с разной степенью антропогенной трансформации / Ю. А. Романкевич // Инновационные процессы в области естественно-научного и социально-гуманитарного образования : сб. ст. IV Междунар. науч.-практ. конф ; Министерство науки и высшего образования РФ, ФГБОУ ВО «ОГПУ». – Оренбург : Экспресс-печать, 2019. – С. 273–280.
27. The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000–2050 / S. Angel, J. Parent, D. L. Civco, A. Blei, D. Potere, // Progress in Planning. – 2011. – Vol. 75. – P. 53–107.
28. Avery, B. W. Soil classification in the soil survey of England and Wales / B. W. Avery // J. Soil Sci. – 1973. – Vol. 24, № 3. – P. 324–338.
29. Burghardt, W. Soil in urban and industrial environments / W. Burghardt // Zeitschrift Pflanzenbaukunde. – Bodenkunde, 1994. – Vol. 157. – P. 205–214.
30. Fanning, D. S. Theories of genesis and classification of highly man-influenced soils / D. S. Fanning, C. E. Stein, J. C. Patterson, // IIth Int. Congr. Soil Sci. – Edmonton, 1978. – Vol. 1. – P. 283–284.
31. First International Conference on soils of urban, industrial, traffic and mining areas. – University of Essen, Germany, 2000. – Vol. 1. – 366 p.

32. Lavkulich, L. M. Luvisolic soils of Canada: genesis, distribution and classification / L. M. Lavkulich, J. M. Arocena // Canadian Journal of Soil Science. – 2011. – Vol. 91, № 5. – P. 781–806.
33. Lehmann, A. Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils / A. Lehmann, K. Stahr // J. Soils Sediments. – 2007. – Vol. 7 (4). – P. 247–260.
34. Rossiter, D. G. Classification of Urban and Industrial Soils in the World Reference Base for Soil Resources // J. Soils Sediments. – 2007. – Vol. 7 (2). – P. 96–100.
35. World reference base for soil resources (2014) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.fao.org/soils-portal/resources/en/>. – Date of access: 10.09.2019.
36. Романкевич, Ю. А. Ретроспективная карта почвенного покрова г. Несвижа (Беларусь) для изучения трансформации городских почв / Ю. А. Романкевич // Проблемы геологии и освоения недр : тр. XXI Междунар. симп. им. акад. М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвящ. 130-летию со дня рожд. проф. М. И. Кучина / Томский политехнический университет. – Томск : Томский политехнический университет, 2017. – Т. I. – С. 812–813.
37. Светлогорск: Экологический анализ города / В. С. Хомич [и др.]. – Минск : Минсктиппроект, 2002. – 216 с.
38. Хомич, В. С. Геохимическая трансформация природной среды в городах Беларуси : дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.23 / В. С. Хомич ; Бел. гос. ун-т. – Минск, 2005. – 350 с.

References

1. *Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of Russian soils]. Smolensk, 2004, 235 p. (in Russian)
2. Prokof'eva T. V., Martynenko I. A., Ivannikov F. A. *Sistematiка pochv i pochvoobrazuyushchih porod Moskvy i vozmozhnost' ih vklucheniya v obshchuyu klassifikaciyu* [The systematics of soils and parent rocks of Moscow and the possibility of their inclusion in the general classification]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 2011, vol. 5, pp. 611–623. (in Russian)
3. Ramankevich J. A. *Metodicheskie podhody k sozdaniyu edinoj klassifikacii pochv urbanizirovannyh territorij s raznoj stepen'yu antropogennoj transformacii* [Methodological approaches to creating a unified classification of soils of urbanized territories with varying degrees of anthropogenic transformation]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 108–124. (in Russian)
4. Glazovskaya M. A. *Principy klassifikacii pochv mira* [World soil classification principles]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 1966, vol. 8, pp. 1–22. (in Russian)
5. Sokolov I. A. *Teoreticheskie problemy geneticheskogo pochvovedeniya* [Theoretical problems of genetic soil science]. Novosibirsk, 2004, 288 p. (in Russian)
6. Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. N. *Klassifikaciya pochv Rossii* [Russian soil classification]. Moscow, 2000, 235 p. (in Russian)
7. *Polevaya diagnostika pochv Belarusi. Prakticheskoe posobie* [Field diagnostics of Belarusian soils. A practical guide]. By ed. G. S. Cytron. Minsk, 2011, 175 p. (in Russian)
8. Smeyan N. I., Cytron G. S. *Klassifikaciya, diagnostika i sistematicheskij spisok pochv Belarusi* [Classification, diagnostics and systematic list of Belarus soils]. Minsk, 2007, p. 220. (in Russian)
9. Smeyan N. I., Cytron G. S. *Novaya klassifikaciya pochv Belarusi* [New soil classification of Belarus] // *Gruntoznavstvo = Soil Science*. Dnepropetrovsk, 2008, vol. 9, no. 1–2, pp. 157–160. (in Russian)
10. Volobuev V. R. *Ob osnovah geneticheskoy klassifikacii pochv* [On the basics of genetic classification of soils] // *Pochvovedenie = Soil Science*, 1964, vol. 12, pp. 1–15. (in Russian)
11. Kossovich P. S. *K voprosu o genezise pochv i ob osnovah dlya geneticheskoy pochvennoj klassifikacii* [To the question of the genesis of soils and the basics for genetic soil classification]. *Zhurnal opytnoj agronomii = Journal of Experimental Agronomy*. Saint Petersburg, 1906, vol 7, pp. 478–501. (in Russian)
12. Polynov B. B. *Osnovy postroeniya geneticheskoy klassifikacii pochv* [Fundamentals of constructing a genetic classification of soils]. *Trudy Sov. Sekcii Mezhdunarod. Asociacii pochvovedov* [Proc. of the Soviet Section of the Int. Association of Soil Scientists], 1933, vol. 2, pp. 23–33. (in Russian)
13. Sibircev N. M. *Pochvovedenie* [Soil Science]. St. Petersburg, 1914, vol. XVI, 504 p. (in Russian)
14. Sokolov I. A. *Bazovaya substantivno-geneticheskaya klassifikaciya pochv* [Basic substantive genetic classification of soils] // *Pochvovedenie = Soil Science*, 1991, vol. 3, pp. 107–121. (in Russian)
15. Gerasimova M. I. *Antropogennye pochvy: genezis, geografiya, rekul'tivaciya* [Anthropogenic soils: genesis, geography, reclamation]. Smolensk, 2003, 268 p. (in Russian)
16. Stroganova M. N., Agarkova M. G. *Gorodskie pochvy: opyt izucheniya i sistematiki (na primere pochv yugozapadnoj chasti g. Moskvy)* [Urban soils: the experience of studying and systematics (on the example of soils in the southwestern part of Moscow)]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 1992, vol. 7, pp. 16–24. (in Russian)
17. Aparin B. F., Suhacheva E. Yu. *Klassifikaciya gorodskikh pochv v sisteme rossiskoj i mezdunarodnoj klassifikacii pochv* [Classification of urban soils in the system of Russian and international soil classification]. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva = Bulletin of V.V. Dokuchaev Soil Science Institute*. Moscow, 2015, vol. 79, pp. 53–72. (in Russian)
18. Tonkonogov V. D., Shishov L. L. *O klassifikacii antropogenno-preobrazovannyh pochv* [On the classification of anthropogenically transformed soils]. *Pochvovedenie = Soil Science*. 1990, vol. 1, pp. 72–79. (in Russian)
19. Agarkova M. G., Celishcheva L. K., Stroganova M. N. *Morfologo-geneticheskie osobennosti gorodskikh pochv i ih sistematika* [Morphological and genetic features of urban soils and their systematics]. *Vestnik Moskovskogo universiteta = Bulletin of the Moscow University*. Moscow, 1991, vol. 2, pp. 11–17. (in Russian)
20. Dokuchaev V. V. *Klassifikaciya pochv* [Soil classification]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 1900, vol. 2, pp. 71–84. (in Russian)

21. Etereuskaya L. V., Donchenko M. T., Lekhcier L. V. *Sistematika i klassifikaciya tekhnogennyh pochv* [Systematics and classification of technogenic soils]. *Rasteniya i promyshlennaya sreda = Plants and Industrial Environment*. Sverdlovsk, 1984, pp. 14–21. (in Russian)
22. Keleberda T. N., Drugov A. N. *Intensifikasiya pochvennyh processov v tekhnogennyh landshaftah i voprosy sistematiki obrazovannyh pochv* [Intensification of soil processes in technogenic landscapes and questions of the systematics of formed soils]. Dnepropetrovsk, 1982, pp. 91–92. (in Russian)
23. Lebedeva I. I., Tonkonogov V. D., Gerasimova M. I. *Antropogenno-preobrazovannye pochyvy v mirovyyh klassifikacionnyh sistemakh* [Anthropogenically transformed soils in world classification systems]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 1996, vol. 8, pp. 961–967. (in Russian)
24. Lebedeva I. I., Gerasimova M. I. *Vozmozhnosti vklucheniya pochv i pochvoobrazuyushchih porod Moskvy v obshchuyu klassifikacionnuyu sistemuyu pochv Rossii* [Possibilities of incorporating Moscow soils and parent rocks in the general classification system of soils in Russia]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 2011, vol. 5, pp. 624–628. (in Russian)
25. Mamontov V. G., Filatova A. I., Komaristaya S. S., Ryabova O. B., Smirgin S. N., Chernichkin R. V. *Svojstva gorodskikh pochv (na primere g. Moskvy)* [Properties of urban soils (for example, Moscow)]. *Plodorodie = Fertility*, 2016, vol. (93), pp. 56–58. (in Russian)
26. Romankevich Yu. A. *O sozdaniyu edinoj klassifikacii pochv urbanizirovannyh territorij s raznoj stepen'yu antropogennoj transformacii* [On the creation of a unified classification of soils in urban areas with varying degrees of anthropogenic transformation]. *Innovacionnye processy v oblasti estestvenno-nauchnogo i social'no-gumanitarnogo obrazovaniya: sbornik statej* [Proc. "Innovative processes in the field of natural science and socio-humanitarian education"]. Orenburg, 2019, pp. 273–280. (in Russian)
27. Angel S., Parent, J., Civco, D. L., Blei, A., Potere, D. (2011b). The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000–2050. *Progress in Planning*, vol. 75, pp. 53–107.
28. Avery B. W. Soil classification in the soil survey of England and Wales. *J. Soil Sci.*, 1973, vol. 24, no. 3, pp. 324–338.
29. Burghardt W. Soil in urban and industrial environments. *Zeitschrift Pflanzen-zernernahr.*, Dung., Bodenkunde, 1994, v.157, pp. 205–214.
30. Fanning D. S., Stein C. E., Patterson J. C. Theories of genesis and classification of highly man-influenced soils. *IIth Int. Congr. Soil Sci.* Edmonton, 1978, vol. 1, pp. 283–284.
31. First International Conference on soils of urban, industrial, traffic and mining areas. University of Essen, Germany, 2000, vol. 1, 366 p.
32. Lavkulich L. M., Arcocena J. M. Luvisolic soils of Canada: genesis, distribution and classification. *Canadian Journal of Soil Science*, 2011, vol. 91, no. 5, pp. 781–806.
33. Lehmann A., Stahr K. Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils. *J. Soils Sediments*, 2007, vol. 7(4), pp. 247–260.
34. Rossiter D. G. Classification of Urban and Industrial Soils in the World Reference Base for Soil Resources. *J. Soils Sediments*, 2007, vol. 7 (2), pp. 96–100.
35. World reference base for soil resources (2014). Available at: <http://www.fao.org/soils-portal/resources/en/> (accessed 10 September 2019).
36. Romankevich Yu. A. *Retrospektivnaya karta pochvennogo pokrova g. Nesvizha (Belarus') dlya izucheniya transformacii gorodskikh pochv* [A retrospective map of the soil cover of the city of Nesvizh (Belarus) for studying the transformation of urban soils]. *Trudy Mezhdunar. simpoz. «Problemy geologii i osvoeniya nedra»* [Proc. Int. Symp. "Problems of geology and subsoil development"]. Tomsk, 2017, vol. 2, pp. 812–813. (in Russian)
37. Homich V. S. [et al.]. *Svetlogorsk: Ekologicheskij analiz goroda* [Svetlogorsk: Environmental analysis of the city]. Minsk, 2002, 216 p. (in Russian)
38. Homich V. S. *Geochemical transformation of the environment in the cities of Belarus. Dr. geogr. sci. diss.*. Minsk, 2005, pp. 350. (in Russian)

Информация об авторе

Романкевич Юлия Александровна – науч. сот-
рудник, Ин-т природопользования, НАН Беларуси
(ул. Ф. Скорины, 10, 220014, г. Минск, Республика
Беларусь). E-mail: yulia_romankevich@mail.ru

Information about the author

Julia A. Ramankevich – Researcher, Institute of
Nature Management, National Academy of Sciences of
Belarus (10 F. Skoriny Str., 220014, Minsk, Republic of
Belarus). E-mail: yulia_romankevich@mail.ru

ОЦЕНКИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ АДМИНИСТРАТИВНЫХ РАЙОНОВ БЕЛАРУСИ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР

В. В. Коляда

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. В статье приведены оценки эффективности использования земель сельскохозяйственных организаций в разрезе административных районов Беларуси, полученные по статистическим данным урожайности зерновых и зернобобовых культур, внесению органических и минеральных удобрений, применению пестицидов за 2011–2017 гг., а также по данным бонитировки пахотных почв. Методами производственной функции оценен вклад ресурсных факторов в изменчивость урожайности. С использованием анализа оболочки данных (Data Envelopment Analysis, DEA) показаны значительные резервы для повышения урожайности при существующих уровнях используемых ресурсов, а также резервы для возможного снижения последних при существующих уровнях урожайности.

Ключевые слова: использование земель; урожайность зерновых и зернобобовых культур; производственная функция; метод DEA; оценка эффективности; административный район.

Для цитирования. Коляда В. В. Оценки использования сельскохозяйственных земель административных районов Беларуси по эффективности возделывания зерновых и зернобобовых культур // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 142–151.

ESTIMATES OF THE AGRICULTURAL LAND USE IN THE ADMINISTRATIVE DISTRICTS OF BELARUS BY THE EFFICIENCY OF GRAINS AND LEGUMES CULTIVATION

V. V. Kalyada

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

Abstract. The article provides estimates of the efficiency of the use lands for agricultural organizations by administrative districts of Belarus, obtained from statistical data on the yield of grain and leguminous crops, the application of organic and mineral fertilizers, the use of pesticides for 2011–2017, and also from the data on the valuation of arable soils. The methods of production function estimated the contribution of resource factors to yield variability. Using a Data Envelopment Analysis (DEA), reserves are shown to increase crop yields at existing levels of resources used, as well as reserves to reduce them at current levels of yield.

Key words: land use; grains and legumes yield; production function; DEA method; efficiency estimate; administrative district.

For citation: Kalyada V. V. Estimates of the agricultural land use in the administrative districts of Belarus by the efficiency of grains and legumes cultivation. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 142–151.

Введение. Основным производственным фактором в сельском хозяйстве является земля, которая выступает здесь не только всеобщим условием и пространственным базисом, но и главным средством производства, одновременно орудием и предметом труда. Земля, ее почва, являясь частью природной среды, обладает способностью обеспечивать биологическую продуктивность растений. Отсюда специфические черты сельского хозяйства: погруженность в «открытый грунт», опора на природную основу ландшафта, высокая территориальная емкость, сезонный характер производства. Участки земли различаются по теплообеспеченности, увлажненности, формам рельефа, гранулометрическому составу, содержанию питательных веществ и другим свойствам, которые могут быть сведены к оценкам плодородия почв и технологического удобства обрабатываемых участков, определяющих продуктивность и эффективность их сельскохозяйственного использования [1].

Преобладающие на территории Беларуси дерново-подзолистые почвы отличаются невысоким естественным плодородием: кислой реакцией, низким содержанием гумуса, азота и других питатель-

ных веществ, а нередко и неблагоприятным водно-воздушным режимом. Их сельскохозяйственное использование требует регулярного внесения органических и минеральных удобрений, периодического известкования, проведения агромелиоративных мероприятий. Под влиянием внутреннего и внешнего спроса на сельскохозяйственную продукцию в силу ограниченности плодородных и удобных земель в оборот также вовлекались переувлажненные и заболоченные почвы, весьма распространенные в Беларуси с ее достаточно влажным климатом [2]. Осущенные земли отличаются благоприятными технологическими свойствами, а их почвы из-за большего содержания в них органического вещества и азота, а также лучшей влагообеспеченности, как правило, потенциально плодороднее почв прилегающих суходолов [3].

Перевод сельского хозяйства Беларуси на интенсивный путь развития был связан с его комплексной механизацией, химизацией и мелиорацией земель и проводился со второй половины 1960-х годов, что способствовало существенному увеличению объемов производства сельскохозяйственной продукции за счет как расширения площадей сельскохозяйственных угодий, так и повышения их производительности. При этом широкомасштабные осушительные работы в буквальном смысле преобразили природную среду, прежде всего южных регионов Беларуси.

Однако интенсивное сельское хозяйство Беларуси базировалось на поставках дешевых материально-энергетических ресурсов и с их прекращением после распада СССР оказалось в глубоком кризисе: резко сократилось внесение удобрений, известкование кислых почв, применение средств защиты растений, обновление машинно-тракторного парка. Из-за отсутствия надлежащих ремонтно-эксплуатационных работ наблюдался прогрессирующий износ мелиоративных систем, ведущий к их неудовлетворительной работе, развитию процессов вторичного заболачивания и, в конце концов, выведу мелиорированных земель из сельскохозяйственного использования [3].

Еще в советский период в полной мере проявились экологические последствия интенсификации земледелия, связанные с загрязнением поверхностных и грунтовых вод продуктами агротехногенеза, влиянием мелиорации на водный режим прилегающих земель. Обнаружилась проблема деградации осущенных торфяно-болотных почв, которые особенно интенсивно разрушались при возделывании пропашных культур, превращая освоенные торфяники в мощный источник поступления в атмосферу парниковых газов (диоксида углерода и закиси азота). В результате сработки плодородного торфяного слоя и вовлечения в распашку подстилающих песков на месте мелкозалежных торфяников стали формироваться деградированные постторфяные почвы с весьма низким бонитетом [3, 4]. Тяжелые и долговременные последствия для ведения сельского хозяйства имела авария на Чернобыльской АЭС, вызвавшая обширное радиоактивное загрязнение территории на юго-востоке страны, отток трудовых ресурсов, изъятие земель либо существенные ограничения по их использованию.

Преодоление кризиса потребовало значительных усилий в виде реализации ряда государственных программ, направленных на преодоление последствий кризиса 1990-х годов, модернизацию производственной сферы и улучшение условий жизни сельского населения, обеспечение продовольственной безопасности страны, устойчивое развитие ее аграрного производства в новых geopolитических и экономических условиях. Однако, несмотря на несомненные успехи в развитии сельского хозяйства Республики Беларусь за последние десятилетия и сегодня, первостепенной задачей остается повышение его эффективности [5]. Важной ее составляющей является повышение эффективности использования мелиорированных земель, занимающих около четверти пахотных угодий страны и наиболее широко представленных на юге – в Полесье, а также на севере – в Поозерье [6].

Все это определяет значительный интерес к оценкам эффективности сельского хозяйства в различных аспектах, где особого внимания с эколого-экономических позиций заслуживают оценки эффективности использования земель. Данная работа является продолжением и дальнейшим развитием исследований автора по оценке технической (технологической) эффективности использования сельскохозяйственного земель, которая рассматривается как соотношение потребляемых ресурсов и полученных результатов в натуральных показателях [7].

Цель работы – получить количественные показатели эффективности сельскохозяйственного использования земель Беларуси на уровне административных районов с применением новых методик для их оценки и накопленных статистических данных.

Материалы и методы исследования. Фактической основой данного исследования послужили материалы Национального статистического комитета Республики Беларусь по посевным площадям и валовым сборам, урожайности зерновых и зернобобовых культур, внесению органических и минеральных удобрений под эти культуры, а также применению пестицидов в сельскохозяйственных организациях административных районов страны за 2011–2017 гг. При анализе факторов использовалась урожайность с 1 га посевной площади, рассчитанная по данным о валовых сборах и посевных площадях. Удельные оценки применения пестицидов как сумма инсектицидов, гербицидов, фунгицидов и протравителей были получены путем нормирования их валовых значений на общую посевную пло-

щадь. Для характеристики плодородия земель были привлечены данные по бонитету пахотных почв сельскохозяйственных организаций в разрезе административных районов [2].

Оценка эффективности использования земель осуществлялась на основе *производственной функции*, которая представляет собой уравнение регрессии, отражающее зависимость результатов производства от его факторов на уровне предприятия, района, области и т. д. (в данном случае урожайности на уровне административного района). Использовалась многофакторная линейная регрессия, коэффициенты которой оценивались по методу наименьших квадратов [8]:

$$\hat{y} = a_0 + a_1 x_1 + \cdots + a_k x_k,$$

где \hat{y} – расчетная урожайность; x_1, \dots, x_k – производственные факторы, $a_0, a_1 \dots, a_k$ – коэффициенты уравнения.

Сопоставление теоретических (расчетных) величин урожайности (\hat{y}) с их фактическими величинами (y), позволяет судить о большей либо меньшей эффективности использования производственных ресурсов в отдельном объекте по сравнению со средним уровнем для всей их совокупности.

Важнейшей характеристикой производственной функции является *пределная производительность* ресурсного фактора, которая определяется как частная производная прироста продукции на единицу прироста ресурсного фактора. При линейной форме связи она равняется значению коэффициента уравнения при соответствующем факторе:

$$a_i = \frac{dy}{dx_k}.$$

Для сопоставления темпов прироста продукции с темпами прироста ресурсных факторов используется *коэффициент эластичности* (E), позволяющий судить о том, на сколько процентов увеличится выпуск продукции при увеличении затрат данного ресурса на 1 %. Значение коэффициента эластичности обычно определяют при среднем уровне ресурсного фактора

$$E_i = \frac{a_i \bar{x}_l}{\hat{y}}.$$

Рассмотрение нескольких факторов позволяет суммировать их коэффициенты эластичности и получить эластичность производства. При этом, если $\sum E_i > 1$, то выход продукции увеличивается более быстрыми темпами, чем ресурсных факторов, а при $\sum E_i < 1$ – выход продукции растет более медленными темпами, чем ресурсных факторов.

Для оценки эффективности использования земель использовался широко применяемый на Западе и все более завоевывающий популярность на постсоветском пространстве анализ оболочки данных (англ. Data Envelopment Analysis, DEA) [9, 10]. Метод DEA позволяет рассчитать относительную эффективность управления объектами, путем построения в многомерном пространстве затрат ресурсов (input) и выпуска продукции (output) кусочно-линейной границы эффективности за счет многократного решения задачи линейного программирования. Он позволяет, в частности, оценить техническую эффективность в виде коэффициента с диапазоном значений от 0 до 1. При этом используются модели, ориентированные на вход (input – oriented), т. е. на использование ресурсов, а также модели, ориентированные на выход (output-oriented), т. е. на выпуск продукции. Оценка эффективности по методу DEA облегчается наличием доступной компьютерной программы [11].

Статистический анализ проводился в системе STATISTICA 6.0. Территориально распределенные оценки показателей эффективности были представлены в виде картограмм, где операционными единицами выступали контуры административных районов. Картографирование выполнялось с использованием ArcGIS 10.1.

Оценка эффективности методом производственной функции. Многофакторная линейная производственная функция (ПФ) урожайности зерновых и зернобобовых культур от формирующих ее ресурсных факторов (бонитет пашни, органические и минеральные удобрения, пестициды) была построена по данным для сельскохозяйственных организаций в разрезе всех 118 административных районов Беларусь за 2011–2017 гг. Статистические параметры урожайности и ее факторов при их осреднении за указанный период представлены в табл. 1.

Статистические параметры в целом мало изменились по сравнению с периодом 2011–2014 гг.: несущественно выросли лишь среднее, минимальное и максимальное значения урожайности, а ее вариация уменьшилась. При этом максимальное значение осталось за Гродненским районом, минимальное – за Россонским районом и их различие в 3,5 раза [7].

Таблица 1. Статистические параметры урожайности зерновых и зернобобовых культур и ее факторов для административных районов Беларуси, 2011–2017 гг.**Table 1. Statistical parameters of the yield of grain and leguminous crops and its factors for the administrative regions of Belarus, 2011–2017**

Показатель	\bar{Y}	Y_{\min}	Y_{\max}	δ	$V, \%$
Урожайность, ц/га	31,8	18,1	63,5	8,6	27,0
Бонитет пашни, балл	31,2	22,5	43,9	4,26	13,7
Органические удобрения, т/га	4,9	1,0	14,1	2,53	51,3
Минеральные удобрения, кг NPK/га	234,0	163,0	373,0	36,2	15,5
Азотные удобрения, кг N/га	90,0	50,0	154,0	17,6	19,5
Фосфорные удобрения, кг P ₂ O ₅ /га	37,0	20,0	66,0	8,6	23,0
Калийные удобрения, кг K ₂ O/га	107,0	79,0	159,0	14,8	13,9
Пестициды, кг /га	2,08	0,89	5,98	1,01	48,2

В результате снижения внесения удобрений и применения пестицидов в 2015–2017 гг., в рассматриваемый период в целом снизились средние и экстремальные значения этих факторов, возросла их вариация и различия между районами. Исключением являются органические удобрений, минимальный уровень внесения которых заметно вырос и теперь относится к Ушачскому и Дубровенскому районам Витебской области, а также Хотимскому району Могилевской области, причем их различие с сохранившим лидерство Барановичским районом сократилось с 25 до 14 раз.

На фоне снижения уровней применения минеральных удобрений возросла их вариация и различия между районами. Так, различия во внесении минеральных удобрений между Гродненским и Ганцевичским районами выросли до 2,3 раза, азотных удобрений между этими же районами – до 3,1, фосфорных удобрений между Дзержинским и Глусским районами – до 3,3, калийных удобрений между Гродненским и Добрушским районами – до 2,0 раз.

Различия в применении пестицидов на 1 га посевной площади всех сельскохозяйственных культур, где «полюсами» оказались Гродненский и Россонский районы, увеличились до 6,8 раза.

Представление о тесноте связей в системе используемых показателей дает корреляционная матрица (табл. 2).

Как видно из табл. 2, урожайность зерновых и зернобобовых культур, рассматриваемая в качестве зависимой переменной ПФ, характеризуется высокими и средними статистически значимыми положительными коэффициентами корреляции со всеми ресурсными факторами. При этом максимальными значениями в убывающем порядке характеризуются: применение пестицидов, внесение азотных удобрений, бонитет пашни, внесение минеральных (в целом) и органических удобрений. Минимальными коэффициентами корреляции с урожайностью характеризуются показатели внесения фосфорных и калийных удобрений.

Таблица 2. Корреляционная матрица урожайности зерновых и зернобобовых культур и ее факторов для административных районов Беларуси, 2011–2017 гг.**Table 2. The correlation matrix of the yield of grain and leguminous crops and its factors for the administrative regions of Belarus, 2011–2017**

№	Показатель	1	2	3	4	5	6	7
1	Урожайность, ц/га	1,0						
2	Бонитет пашни, балл	0,80	1,0					
3	Органические удобрения, т/га	0,67	0,56	1,0				
4	Минеральные удобрения, кг NPK/га	0,76	0,50	0,49	1,0			
5	Азотные удобрения, кг N/ га	0,83	0,59	0,47	0,91	1,0		
6	Фосфорные удобрения, кг P ₂ O ₅ /га	0,56	0,34	0,30	0,86	0,71	1,0	
7	Калийные удобрения, кг K ₂ O/га	0,56	0,31	0,46	0,87	0,62	0,67	1,0
8	Пестициды, кг/га	0,89	0,70	0,58	0,78	0,83	0,53	0,62

Результаты оценки параметров ПФ показывают (табл. 3), что качество подгонки данных по коэффициенту детерминации (R^2) после 2014 г., в контрасте с предыдущим периодом [7], заметно снижается и появляются статистически незначимые предикторы. Особенно резко оно понизилось в 2015 г., когда значимыми на 5 %-ном уровне ошибки оказались лишь пестициды и бонитет пашни. В 2016 г. применение пестицидов, напротив, становится единственным незначимым предиктором. И только в 2017 г. ситуация улучшается и незначимым является лишь свободный член. Однако при осреднении за весь исследуемый период (2011–2017 гг.) качество ПФ остается высоким, а все ее параметры являются статистически значимыми, что позволяет использовать уравнение для оценки эффективности использования земель и роли различных факторов в формировании урожайности.

Таблица 3. Основные параметры производственной функции урожайности зерновых и зернобобовых культур по административным районам Беларусь за различные периоды**Table 3. The main parameters of the production function of the yield of grains and legumes in the administrative regions of Belarus for different periods**

Фактор	Beta	Коэффициент регрессии	t-критерий	p-уровень
2015–2017 гг.				
$R = 0,906; R^2_{adj} = 0,814; F(4, 113) = 129; p < 0,000; Sy = 3,73$				
Свободный член		1,21	0,4	0,715
Пестициды	0,40	3,52	4,7	0,000
Бонитет пашни	0,25	0,51	4,5	0,000
Азотные удобрения	0,21	0,09	2,8	0,006
Органические удобрения	0,18	0,60	3,5	0,001
2015 г.				
$R = 0,830; R^2_{adj} = 0,678; F(4, 113) = 63; p < 0,000; Sy = 5,86$				
Свободный член		9,0	1,7	0,099
Пестициды	0,68	7,13	7,5	0,000
Бонитет пашни	0,18	0,46	2,5	0,015
Органические удобрения	0,05	0,19	0,8	0,408
Азотные удобрения	-0,01	-0,003	-0,1	0,928
2016 г.				
$R = 0,871; R^2_{adj} = 0,749; F(4, 113) = 88; p < 0,000; Sy = 4,11$				
Свободный член		-6,0	-1,4	0,105
Бонитет пашни	0,33	0,69	5,4	0,000
Азотные удобрения	0,41	0,16	3,9	0,000
Пестициды	0,09	0,69	2,7	0,336
Органические удобрения	0,22	0,62	3,8	0,000
2017 г.				
$R = 0,866; R^2_{adj} = 0,742; F(4, 113) = 85; p < 0,000; Sy = 4,67$				
Свободный член		-3,1	-0,8	0,417
Азотные удобрения	0,31	0,12	2,7	0,000
Пестициды	0,29	2,76	4,9	0,001
Бонитет пашни	0,28	0,62	4,4	0,000
Органические удобрения	0,12	0,39	2,0	0,027
2011–2017 гг.				
$R = 0,946; R^2_{adj} = 0,892; F(4, 113) = 242; p < 0,000; Sy = 2,83$				
Свободный член		-9,6	-3,3	0,001
Пестициды	0,35	3,01	5,6	0,000
Бонитет пашни	0,30	0,65	6,7	0,000
Азотные удобрения	0,28	0,14	5,1	0,000
Органические удобрения	0,17	0,58	4,4	0,000

Оценки эластичности факторов как меры чувствительности урожайности к изменению ресурсных факторов, которая показывает на сколько процентов изменится урожайность при изменении ресурсного фактора на 1 %, а также величины урожайности с 1 га посевной площади за все рассматриваемые годы и при осреднении их значений за различные периоды представлены в табл. 4.

В рассматриваемый период в целом наблюдалось снижение чувствительности зернопроизводства к использованию ресурсных факторов. Особенно низким она была в 2015 г., что несущественно отразилось на урожайности, которая оказалась второй по величине за 2011–2017 гг. В то же время максимальное значение эластичности приходится на 2013 г., для которого урожайность зерновых и зернобобовых в эти годы была самой низкой. Все это лишь подтверждает необходимость весьма осторожного использования урожайности в качестве показателя эффективности использования земель. Оценки эластичности ресурсных факторов показывают наибольший вклад бонитета почв в общую эластичность зернопроизводства во все исследуемые годы, далее по значению идут минеральные (азотные) удобрения и пестициды, а минимальным вкладом характеризуются органические удобрения (табл. 4).

На основе ПФ, построенной по осредненным данным за 2011–2017 гг., была оценена эффективность использования земельных ресурсов по сравнению со средним уровнем. Результаты оценки с применением упрощенной шкалы из трех градаций, позволяющей отделить фоновые значения показателя от его минимальных и максимальных значений [9], отражены на рис. 1.

Таблица 4. Средняя урожайность зерновых и зернобобовых культур и коэффициенты эластичности ресурсных факторов для территории Беларусь

Table 4. Average productivity of grain and leguminous crops and elasticity coefficients of resource factors for the territory of Belarus

Период, год(ы)	\bar{Y} , ц/га	Коэффициенты эластичности				
		бонитет пашни	органические удобрения	азотные удобрения	пестициды	сумма
2011–2014	31,6	0,67	0,10	0,41	0,25	1,43
2011	30,5	0,54	0,12	0,37	0,25	1,28
2012	33,0	0,68	0,07	0,17	0,40	1,32
2013	27,9	0,93	0,09	0,57	0,20	1,79
2014	35,2	0,98	0,07	0,28	0,14	1,47
2015–2017	32,1	0,49	0,08	0,21	0,17	0,96
2015	34,8	0,43	0,00	0,00	0,33	0,76
2016	29,9	0,76	0,10	0,40	0,00	1,26
2017	31,4	0,61	0,06	0,29	0,14	1,10
2011–2017	31,8	0,63	0,09	0,39	0,20	1,30

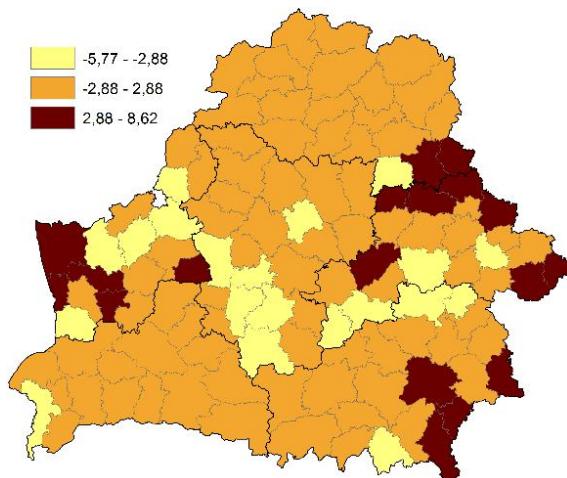


Рис. 1. Регрессионные остатки урожайности зерновых и зернобобовых культур по административным районам Беларусь, 2011–2017 гг., ц/га

Fig. 1. Regression residues of the grains and legumes yield by administrative districts of Belarus, 2011–2017, centers per hectare

Согласно регрессионным остаткам, повышенной эффективностью использования земельных ресурсов отличаются: Круглянский, Шкловский, Мстиславский, Кличевский, Горецкий, Костюковичский, Хотимский районы Могилевщины; Мостовский, Берестовицкий, Кареличский, Гродненский и Зельвенский районы Гродненщины; Речицкий, Добрушский, Брагинский и Лоевский районы Гомельшины; Оршанский и Дубровенский районы Витебщины. Пониженней эффективностью характеризуются: Кормянский, Рогачевский и Наровлянский районы Гомельской области; Смолевичский, Слуцкий, Столбцовский, Копыльский, Солигорский и Узденский районы Минщины; Свислочский, Лидский, Ивьевский, Щучинский, Ошмянский районы Гродненской области; Глусский, Быховский, Бобруйский и Чериковский районы Могилевской области; Толочинский район Витебской области; Брестский район.

Сопоставление показывает, что первая группа районов заметно превосходила вторую группу по уровню урожайности (39,3 и 31 ц/га соответственно) при практически равных и даже более низких значениях бонитета почв (32,4 и 32,9 балла), внесении органических (5,1 и 5,4 т/га) и минеральных (246 и 242 кг NPK /га) удобрений и пестицидов (2,36 и 2,41 кг/га соответственно).

Роль отдельных факторов в изменчивости урожайности зерновых культур сельскохозяйственных организаций по административным районам существенно не отличалась от рассмотренного нами ранее периода 2011–2014 гг. [9] и здесь не приводится.

В целом оценки показывают, что повышенным уровнем урожайности характеризовались сельскохозяйственные организации районов с высоким уровнем плодородия почв, повышенными дозами

внесения минеральных, прежде всего азотных, удобрений, а также интенсивным применением пестицидов. Основными причинами пониженной урожайности является невысокое плодородие почв и необеспеченность сельскохозяйственных организаций факторами интенсификации зернопроизводства.

Оценки показывают, что максимальные преимущества в урожайности районов присущи их положительным аномалиям по бонитету почв и пестицидам (1,9 раза), по минеральным удобрениям (1,7 раза) и органическим удобрениям (1,6 раза). При этом по трем первым факторам районы с положительными аномалиями урожайности характеризовались меньшим распространением осушенных земель в посевах (0,2–0,4). В то же время по органическим удобрениям эти районы неотличимы по участию осушенных земель в посевах (1,0).

Оценка эффективности методом DEA. Оценки относительной технологической эффективности сельскохозяйственных организаций по административным районам Беларуси представлены на рис. 2.

Коэффициент технологической эффективности по районам изменялся от 0,694 до 1,0. При этом максимальной технологической эффективностью зернопроизводства характеризовались 13 районов Беларуси, среди которых представлены как высокоурожайные (Несвижский, Гродненский, Мостовский, Кореличский, Шкловский, Круглянский), так и низкоурожайные районы (Хотимский, Хойникский, Дубровенский). Среди наиболее неэффективных доминируют низкоурожайные районы (Шумилинский, Наровлянский, Глусский и др.). В среднем урожайность наиболее эффективных районов оказалась в 1,6 раза выше урожайности наименее эффективных районов. При этом соотношения в затратах ресурсных факторов были меньшими: по бонитету почв и органическим удобрениям – 1,1, минеральным удобрениям – 1,2 и только по пестицидам – 1,5. Вместе с тем наиболее эффективные районы характеризовались существенно меньшим участием осушенных земель в посевах (соотношение 0,6).

Результаты расчетов по обоим моделям параметров урожайности и ресурсных факторов в рамках принятой постоянной отдачи от масштаба, т. е. без учета масштабов зернопроизводства в административных районах, представлены на рис. 3 и в табл. 5.

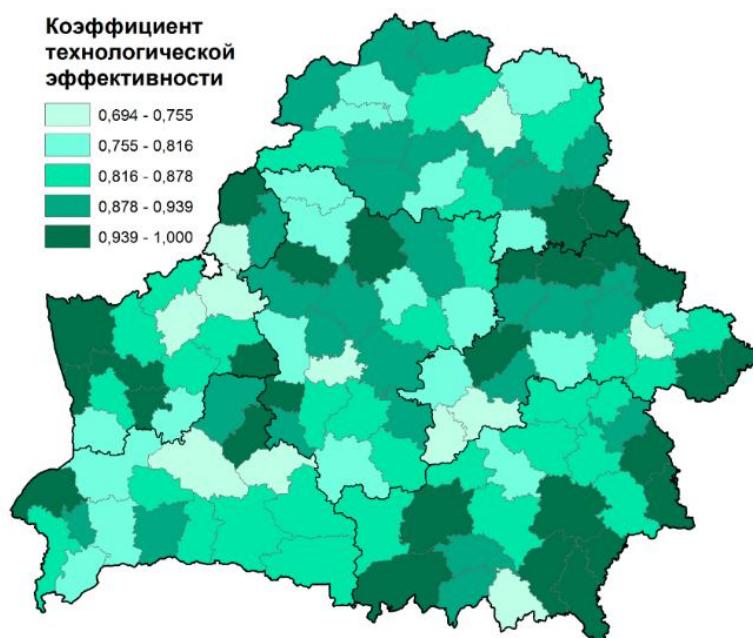


Рис. 2. Коэффициенты технологической эффективности зернопроизводства по административным районам Беларуси, 2011–2017 гг.

Fig. 2. Coefficients of technological efficiency of grain production by administrative districts of Belarus, 2011–2017

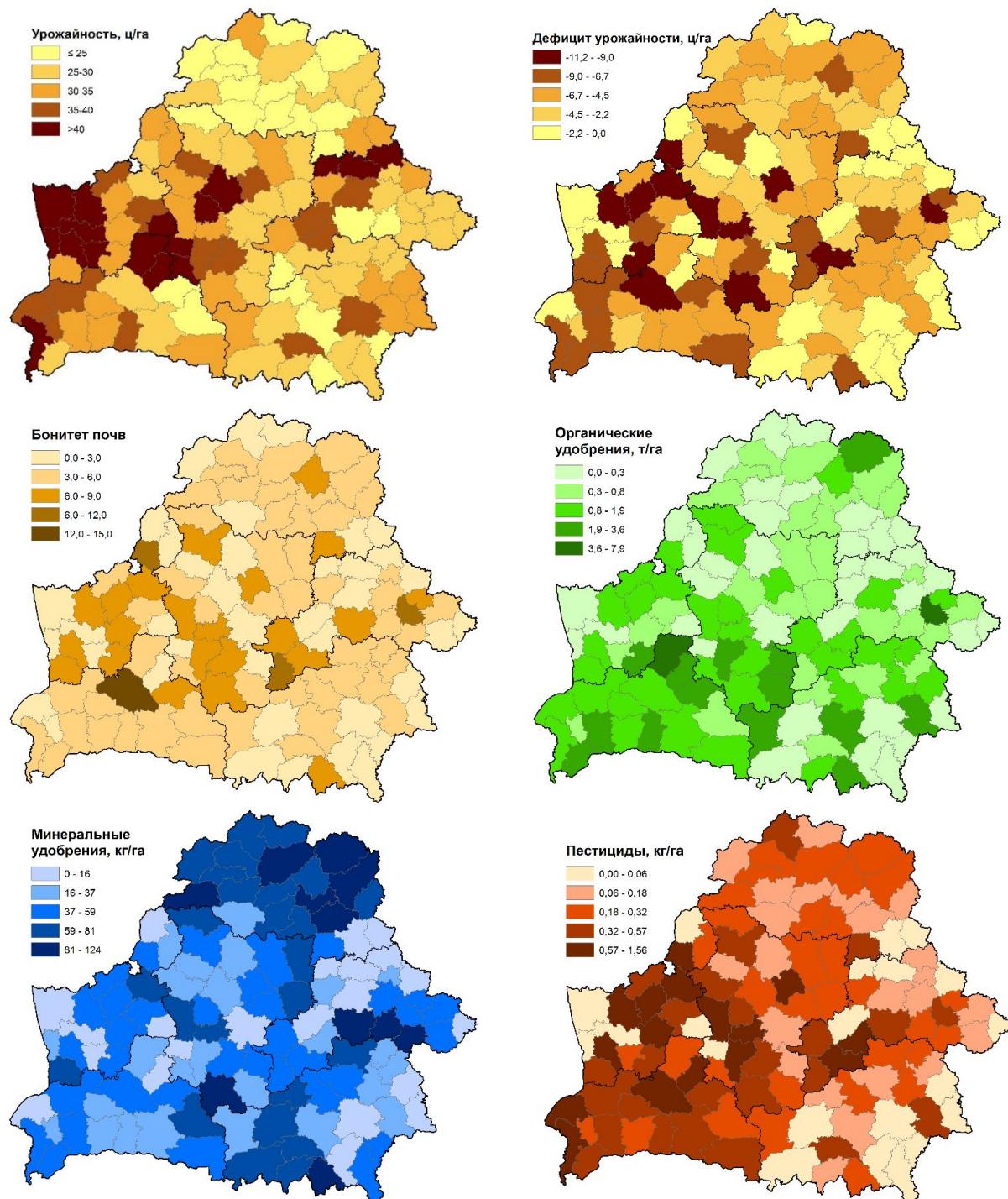


Рис. 3. Фактическая урожайность, ее недобор при текущих затратах ресурсов и избыток ресурсов при фактическом уровне урожайности по районам Беларусь, 2011–2017 гг.

Fig. 3. The actual yield, its shortage at the current expenditure of resources and the overspending of resources at the actual level of productivity in districts of Belarus, 2011–2017

При полной технической эффективности зернопроизводства в сельскохозяйственных организациях административных районов Беларусь урожайность возрастает в среднем на 4,7 ц/га, или на 16 %. Максимальный дефицит (недобор) урожайности наблюдается в Ошмянском районе (11,2 ц/га). Среди районов, где он превышает 10 ц/га также Ивацевичский, Узденский, Бобруйский, Лидский, Чечерский и Ивьевский. В относительном выражении максимальным дефицитом урожайности (более 44 %) характеризуется Шумилинский район.

Таблица 5. Статистические параметры урожайности и ресурсных факторов при обеспечении полной технической эффективности зернопроизводства по административным районам Беларуси, 2011–2017 гг.

Table 5. Statistical parameters of yield and resource factors while ensuring technical efficiency of grain production by administrative regions of Belarus, 2011–2017

Показатель	\bar{Y}	Y_{\min}	Y_{\max}	δ	$V, \%$
Урожайность, ц/га	36,5	20,2	63,5	8,4	23,2
Дефицит (недобор) урожайности	4,7	0,0	11,2	3,1	67,0
Бонитет пашни, балл	27,1	17,5	43,9	4,9	18,2
Профицит (избыток)	4,1	0,0	15,0	2,8	67,7
Органические удобрения, т/га	4,0	0,9	10,9	2,0	50,4
Профицит (избыток)	0,9	0,0	7,9	1,1	118,8
Минеральные удобрения, кг NPK/га	188	113	373	47,1	25,0
Профицит (избыток)	45	0	124	28,5	62,9
Пестициды, кг /га	1,8	0,7	6,0	0,9	52,7
Профицит (избыток)	0,29	0,0	1,56	0,2	84,6

Профицит (избыток) ресурсных факторов зернопроизводства по бонитету почв в среднем составил 4,1 балла, или 13,2 %. Максимальным абсолютным и относительным его значением характеризуется Ивацевичский район, где он составляет 15 баллов, или 38 % от фактического значения. Избыток внесения органических удобрений в среднем составил 0,9 т/га, или 16,8 %, с абсолютным максимумом в Барановичском районе (7,9 т/га) и относительным – в Чериковском районе (57 %). Избыток внесения минеральных удобрений в среднем составил 45 кг NPK/га, или 19,8 %, а в пределе достигает 124 кг, или 48,8 %, в Наровлянском районе. Избыток применения пестицидов в среднем по всем административным районам равен 0,29 кг/га (14,4 %), а его максимум в 1,56 кг/га, или 46,3 %, относится к Копыльскому району.

Заключение. На основе имеющихся в статистических данных о посевных площадях, валовых сборах и урожайности зерновых и зернобобовых культур за 2011–2017 гг. получены оценки технической эффективности использования земель сельскохозяйственных организаций в разрезе административных районов Беларуси.

По статистическим данным для сельскохозяйственных организаций за указанный период в разрезе административных районов Беларуси построена множественная линейная ПФ урожайности зерновых и зернобобовых культур от бонитета пахотных почв, внесения органических и минеральных (азотных) удобрений под зерновые культуры, а также применения пестицидов, которая характеризуется высоким уровнем подгонки к эмпирическим данным ($R^2 \approx 0,90$). С использованием ПФ получены оценки вклада отдельных факторов в изменчивость урожайности зерновых и зернобобовых культур на территории Беларуси и построены картограммы их распределения по административным районам. Результаты анализа показывают сохраняющийся преимущественно химико-технологический характер интенсификации сельского хозяйства Беларуси со всеми присущими ему недостатками: невысокой продуктивностью, высокими затратами ресурсов – потенциальных загрязнителей окружающей среды (биогенные элементы, остаточные пестициды).

С привлечением тех же данных методом DEA в рамках модели постоянной отдачи от масштаба оценены коэффициенты технологической эффективности зернопроизводства в сельскохозяйственных организациях Беларуси на уровне административных районов, а также рассчитаны дефициты (недоборы) урожая при использовании наличных ресурсов и профициты (избытки) ресурсов при достигнутых уровнях урожайности. Результаты оценки, представленные в виде картограмм на уровне административных районов, демонстрируют значительные резервы для повышения эффективности зернопроизводства Беларуси в современных условиях, которое возможно, как за счет роста урожайности, так и более экономного использования всех имеющихся ресурсов. Повышение эффективности использования земель будет одновременно способствовать снижению агротехногенных (азотных, фосфорных, пестицидных) нагрузок на природную среду.

Важная роль в повышении эффективности сельского хозяйства Беларуси принадлежит увеличению продуктивности мелиорированных земель, играющих видное место в зернопроизводстве и растениеводстве в целом, и призванных сыграть стабилизирующую роль в их развитии в условиях изменяющегося климата.

Благодарности. Автор приносит благодарность младшему научному сотруднику Центра климатических исследований Т. Г. Табальчук за помочь в построении картограмм.

Acknowledgements. The author is grateful to T. G. Tabalchuk, a junior researcher at the Center for Climatic Research, for her help in constructing cartograms.

Список использованной литературы

1. Экономика сельского хозяйства / Н. Я. Коваленко [и др.]. – М., 2004.
2. Кадастровая оценка сельскохозяйственных земель Республики Беларусь. – Минск, 2017.
3. Лихачевич, А. П. Мелиорация земель Беларуси и ее эффективность / А. П. Лихачевич // Проблемы устойчивого развития мелиорации и рационального природопользования. – М., 2007. – Т. I. – С. 29–34.
4. Бамбалов, Н. Н. Деградация торфяных почв Полесья / Н. Н. Бамбалов // Вестник Полесского государственного университета, 2008. – № 1. – С. 54–59.
5. Государственная программа развития аграрного бизнеса в Республике Беларусь на 2016–2020 гг. – Минск, 2016.
6. Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. – Минск, 2019.
7. Коляда, В. В. Анализ факторов урожайности и оценка эффективности зернопроизводства по административным районам Беларуси / В. В. Коляда // Природопользование. – 2016. – Вып. 30. – С. 76–85.
8. Гатаулин, А. М. Экономико-математические методы в планировании сельскохозяйственного производства / А. М. Гатаулин, Г. В. Гаврилов, Л. А. Харитонова. – М., 1986.
9. Моргунова, О. Н. Методы и алгоритмы исследования эффективности сложных иерархических систем / дис. ... канд. тех. наук / О. Н. Моргунова. – Новосибирск, 2006.
10. Нечаев, В. И. Оценка экономической эффективности агропроизводства / В. И. Нечаев, Н. Р. Сайфетдинова, С. Д. Фетисов // Экономика сельского хозяйства России. – 2009. – № 10. – С. 46–54.
11. Coelli, T. J. A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. Centre for Efficiency and Productivity Analysis [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.uq.edu.au/economics/cepa/software.php>. – Date of access: 19.09.2019.

References

1. Kovalenko N. Ya., Agirbov Yu. I., Serova N. A. [et al.]. *Ekonomika sel'skogo hozyajstva* [Agricultural Economics]. Moskva, 2004. (in Russian)
2. *Kadastrovaya ocenka sel'skohozyajstvennyh zemel' Respubliki Belarus'* [Cadastral valuation of agricultural land of the Republic of Belarus]. Minsk, 2017. (in Russian)
3. Lihacevich A. P. *Melioraciya zemel' Belarusi i ee effektivnost'* [Land reclamation of Belarus and its efficiency]. *Problemy ustoichivogo razvitiya melioracii i rational'nogo prirodopol'zovaniya = Problems of sustainable development of land reclamation and rational nature management*, vol. I, Moscow, 2007, pp. 29–34. (in Russian)
4. *Sel'skoe hozyajstvo Respubliki Belarus'* [Agriculture of the Republic of Belarus]. *Statisticheskij sbornik = Statistical Yearbook*. Minsk, 2019. (in Russian)
5. Bambalov N. N. *Degradaciya torfyanyh pochv Poles'ya* [Degradation of peat soils of Polesye]. *Vestnik Polesskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of the Polessky state university*, 2008, no 1, pp. 54–59. (in Russian)
6. *Gosudarstvennaya programma razvitiya agrarnogo biznesa v Respublike Belarus' na 2016–2020 gg.* [The state program for the development of agricultural business in the Republic of Belarus for 2016–2020]. Minsk, 2016. (in Russian)
7. Kalyada V. V. *Analiz faktorov urozhajnosti i ocenka effektivnosti zernoproizvodstva po administrativnym rajonam Belarusi* [Analysis of crop yields and assessment of the efficiency of grain production in the administrative districts of Belarus]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2016, vol. 30, pp. 76–85. (in Russian)
8. Gataulin A. M., Gavrilov G. V., Haritonova L. A. *Ekonomiko-matematicheskie metody v planirovaniu sel'skohozyajstvennogo proizvodstva* [Economic and mathematical methods in planning agricultural production]. Moscow, 1986. (in Russian)
9. Morgunova O. N. *Metody i algoritmy issledovaniya effektivnosti slozhnyh ierarhicheskikh sistem* [Methods and research algorithms of efficiency of complex hierarchical systems]. Diss. kand. tekhn. nauk [Dr. techn. sci.]. Novosibirsk, 2006. (in Russian)
10. Nechaev V. I., Sajfetdinova N. R., Fetisov S. D. *Ocenka ekonomicheskoy effektivnosti agroproizvodstva* [Evaluation of the economic efficiency of agricultural production]. *Ekonomika sel'skogo hozyajstva Rossii = Agricultural Economics of Russia*. 2009, no 10, pp. 46–54. (in Russian)
11. Coelli T. J. A Guide to DEAP Version 2.1: A Data Envelopment Analysis (Computer) Program. Centre for Efficiency and Productivity Analysis [Electronic resource]. – Available at: <http://www.uq.edu.au/economics/cepa/software.php> (accessed 19 September 2019).

Информация об авторе

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

Information about the author

Valery V. Kalyada – Researcher, Institute of 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

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ЗЕЛЕНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ г. МИНСКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Л. А. Кравчук, А. А. Яновский, Н. М. Баженова, А. Ч. Пац

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Вопросы оценки зеленой инфраструктуры (системы озелененных территорий) в городах весьма актуальны в связи с интенсификацией градостроительных процессов и высокой долей населения, проживающего в городах. На различных этапах градостроительного планирования для целей формирования благоприятной окружающей среды требуются актуальные сведения о структуре озелененных территорий, их состоянии. Вместе с тем получение оперативных единовременных данных о структуре и состоянии городских насаждений и природных, semi-природных экосистем с использованием традиционных наземных исследований – задача трудновыполнимая, в связи с высокой трудоемкостью и продолжительностью. В статье проанализированы результаты и возможности использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для дифференцированной оценки структуры и состояния озелененных территорий в городах (на примере г. Минска). Для диагностики озелененных территорий применены различные вегетационные индексы (NDVI, GNDVI), индекс листовой поверхности (LAI) и содержание в пологе хлорофилла (CCC), полученные по спутниковому снимку Sentinel-2. Анализ проведен в разрезе структурно-планировочных выделов территории города Минска, различающихся по функциональному использованию (жилых, производственных, общественных, ландшафтно-рекреационных и др.).

Ключевые слова: городская зеленая инфраструктура; озелененные территории; дистанционное зондирование; NDVI; GNDVI; LAI; содержание хлорофилла в пологе.

Для цитирования. Кравчук Л. А., Яновский А. А., Баженова Н. М., Пац А. Ч. Дифференцированная оценка зеленой инфраструктуры г. Минска с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 152–167.

DIFFERENTIATED ASSESSMENT OF THE GREEN INFRASTRUCTURE OF MINSK USING THE DATA OF REMOTE SENSING OF THE EARTH

L. A. Kravchuk, A. A. Yanovskiy, N. M. Bazhenova, A. Ch. Pats

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

Abstract. The issues of estimation of green infrastructure (systems of green areas) in cities are very actual due to intensification of city-building processes and high stake of population resident in cities. Actual information about the structure of the green areas and their state is required on the different stages of urban planning so as to form favorable environment. At the same time operational one-time data about a structure and state of the municipal green areas and natural, semi natural ecosystems with the use of traditional surface researches is a hard task, as it is very labor intensive and longstanding. In the article the results and possibilities of the differentiated estimation of structure and state of the vegetated areas in cities on the basis of the remote sensing data are analysed (with the example of Minsk). Different vegetation indexes (NDVI, GNDVI), leaf area index (LAI) and canopy chlorophyll concentration (CCC), derived from Sentinel-2 satellite image, were used for diagnostics of green areas. The analysis took place in the context of the structure of planned parcels of Minsk's territory, differentiated by functional usage (residential, industrial, public, recreational and other areas).

Keywords: urban green infrastructure; green area; remote sensing; NDVI; GNDVI; LAI; canopy chlorophyll content.

For citation. Kravchuk L. A., Yanovskiy A. A., Bazhenova N. M., Pats A. Ch. Differentiated assessment of the green infrastructure of Minsk using the data of remote sensing of the Earth. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 152–167.

Введение. Вопросы структуры и эффективности функционирования растительного покрова (зеленой инфраструктуры) в городах весьма актуальны в связи с интенсивными процессами урбанизации и необходимостью создания устойчивой городской среды. Сведения о структуре и состоянии

природных (лесов, лугов, болот и др.), семиприродных экосистем и насаждений в городах требуются для диагностики состояния окружающей среды и оптимизации структуры озеленения, природосовместимого градостроительного планирования, организации мероприятий по уходу за территориями. Эти данные могут служить основой для оценки отдельных показателей уровня организации ландшафтно-рекреационного комплекса [1] (озелененность функциональных зон, обеспеченность населения озелененными территориями и др.), а также оценки выполнения городскими природными комплексами экосистемных функций. При этом наряду с использованием сведений учета, натурных исследований, данных хода роста и биологической продуктивности в настоящее время широко применяются данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ).

Эффективность использования данных ДЗЗ обусловлена возможностью получения важных характеристик экосистем в требуемом временному диапазоне (в том числе для ретроспективного анализа), единовременностью оценок, широтой охвата территорий.

С развитием технологий ДЗЗ и обработки его данных расширился спектр исследований индикационных качеств космических снимков для диагностики качественных и количественных характеристик наземных экосистем, в том числе для изучения характеристик растительного покрова [2] и структуры ландшафтов [3]. Подобные исследования активно проводятся и на урбанизированных территориях [4–6 и др.].

Используемые данные ДЗЗ представляют собой результаты регистрации спутниковыми спектрорадиометрами значений энергетических яркостей спектральных каналов и расчета различных комбинаций данных каналов (индексов).

Для дистанционного выделения фотосинтезирующей растительности на основе спектральных каналов в видимой и ближней инфракрасной (ИК) областях спектра широко применяется нормализованный разностный индекс растительности – *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* [7]. Он основан на использовании присущего растительности очень низкого значения коэффициента отражения в красной области спектра вследствие поглощения фотосинтетически активного излучения растительными пигментами и высокого значения коэффициента отражения в ближней ИК области. Последнее обусловлено рассеянием растительным покровом падающего излучения ближнего ИК-диапазона спектра на границах разделов воздух–вода и воздух–клеточная стенка [8, 9].

Для совершенствования индикационных качеств вегетационных индексов разработаны различные их варианты (GNDVI, TDVI, EVI и др.). Например, как установлено в работе [10], Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) в среднем более чем в 5,0 раз чувствительнее к концентрации хлорофилла **a**, чем NDVI, и может быть использован, в частности, для выделения растительности в состоянии стресса, а также стареющей растительности.

Индекс листовой поверхности (ИЛП), или англ. leaf area index (LAI), – относительная безразмерная, или выраженная в мерах площади ($\text{м}^2/\text{м}^2$, га/га) суммарная площадь односторонней поверхности листьев или хвои на единицу поверхности почвы. LAI коррелирует с фотосинтезирующей биомассой, чистой продукцией (приростом) и др. Он реагирует на тип растительности, ее угнетение, условия произрастания [11, 12 и др.]. По общим оценкам в лиственных лесах умеренного пояса LAI варьирует в пределах 3–7, у большинства сельскохозяйственных культур, лугов данный индекс оценивается в пределах 4–5. Следует обратить внимание на то, что значения LAI в лесах в естественных условиях имеют сезонную динамику, что связано с сезонным ростом, дефолиацией лиственных пород. На сельскохозяйственных землях и лугах LAI определяется видом сельскохозяйственной культуры, стадией ее развития, сукцессионными сменами луговых сообществ. Уборка сельхозкультур, косьба лугов и газонов приводят к снижению LAI.

Эффективный LAI, рассчитанный с использованием космических снимков, существенно нелинейно связан со значением коэффициента отражения растительности. При отсутствии измерений двунаправленного коэффициента отражения (зависит как от углов падения, так и от направления отражения) LAI нельзя напрямую оценить по данным ДЗЗ вследствие возможной неоднородности распределения листьев в объеме полога. Поэтому при оценке LAI по данным ДЗЗ предполагается случайное распределение листьев в пологе, а полученное значение LAI называется эффективным индексом листовой поверхности.

Содержание в растительном пологе хлорофилла – Canopy chlorophyll content (CCC), измеряется в $\text{мкг}/\text{см}^2$. Его снижение является индикатором стресса, ухудшения состояния растительности [13]. Содержание хлорофилла может быть оценено как для листьев, так и для полога. Показатель CCC может быть рассчитан путем умножения содержания хлорофилла в листьях на LAI. Однако непосредственная оценка CCC является более рабочей и точной.

Для выявления динамики изменения растительного покрова используются разностные изображения, процесс получения которых состоит в обработке разновременных снимков одной и той же территории, имеющих одинаковые (или достаточно близкие) по длинам волн наборы спектральных каналов. Такие исследования проведены и в Беларуси для оценки динамики озелененности территории г. Минска за период с 1996 по 2015 г. [5]. Однако интерпретация разновременных данных ДЗЗ в городах осложняется некоторыми существенными моментами: высокой динамикой застройки городских земель, при которой происходит удаление растительности; изменением структуры растительного покрова (например, вида сельхозкультур на сельскохозяйственных землях, динамикой фенологических фаз у растений, косьбой трав на газонах, ростом растений, посадками деревьев, кустарников) и, возможно, другими (например, метеоклиматическими условиями сезона, года).

Применение различных вегетационных индексов в сочетании с проведением наземных подспутниковых исследований позволяет повысить точность оценок и тематического картографирования состояния наземных экосистем. Опыт подобных исследований в городах ограничен [4–6, 14 и др.].

Цели и задачи работы – провести анализ изменения основных вегетационных индексов в зависимости от структуры и функциональной организации городской территории для оценки возможностей использования ДЗЗ для детальной характеристики озелененных территорий в структурно-планировочных образованиях города.

Объекты и методы исследования. Для целей исследований использовался снимок спутника серии Sentinel-2 уровня обработки 1С с датой съемки 12.08.2017 г. Атмосферная коррекция снимка выполнена с использованием программы обработки Sen2Cor [15]. Снимок Sentinel-2 территории г. Минска подобран с помощью web-интерфейса Copernicus Open Access Hub [16]. Критерием отбора являлись минимальная облачность (подбирались снимки без облаков и дымки) и приемлемый для оценки растительности период активной вегетации.

Использование одномоментных снимков для исследования закономерностей изменения растительного покрова в различных структурно-планировочных выделах в городах продиктовано высокой изменчивостью состояния и структуры растительного покрова на урбанизированных территориях. Она обусловлена как интенсивными градостроительными процессами (застройка территорий, прокладка коммуникаций при которых удаляется растительность), сезонной динамикой растительного покрова (смена фенологических фаз, прирост фитомассы древесно-кустарниковой растительности, косьба газонов, удаление деревьев, ослабление насаждений, изменение метеоклиматических условий, определяющих состояние растительного покрова).

В процессе обработки данных ДЗЗ рассчитывались значения индексов NDVI, GNDVI и LAI, а также CCC. Для расчета NDVI и GNDVI использованы каналы с пространственным разрешением 10 м. При расчете LAI и CCC используются преимущественно каналы с разрешением 20 м. По снимкам Sentinel-2 вегетативные индексы NDVI и GNDVI рассчитывались по формулам (1)–(2):

$$\text{NDVI} = (b8 - b4) / (b8 + b4) \quad (1)$$

$$\text{GNDVI} = (b8 - b3) / (b8 + b3) \quad (2)$$

где $b3$, $b4$ и $b8$ — значения спектральных каналов 3, 4 и 8 мультиспектрального прибора MSI спутников серии Sentinel-2.

LAI и CCC рассчитывались с использованием модуля L2B (L2B biophysical processor) программы Sentinel-2 Toolbox [17]. Расчет LAI и CCC биофизическим процессором проводится на основе нейронных сетей. Обучающая выборка получена авторами модуля с помощью модели переноса излучения. В частности, выполнено моделирование отражательной способности полога для большинства типов и состояния растительности при условии регистрации излучения в спектральных диапазонах каналов Sentinel-2 при возможных значениях геометрии съемки [13].

Для LAI и CCC нами составлялась маска валидных значений путем исключения пикселей, для которых исходные значения каналов выходят за границы диапазона обучающей выборки и рассчитанные значения LAI и CCC выходят за границу ожидаемого диапазона, т. е. диапазона значений, полученного по обучающей выборке, поскольку в данных случаях результаты алгоритма в общем случае являются недостоверными.

На основании обработки снимков получены данные о распределении исследуемых показателей в пределах существующей и перспективной городской черты. Примеры распределения NDVI (в диапазоне [0,1]) и CCC (в диапазоне [0,300]) в границах г. Минска и ближайшего пригорода приведен на рис. 1, 2.



Рис. 1. Распределение значений NDVI на территорию г. Минска
(по данным Sentinel-2; дата съемки 12.08.2017 г.)

Fig. 1. Distribution of NDVI values for the territory of Minsk
(by Sentinel-2; survey date 08/12/2017)

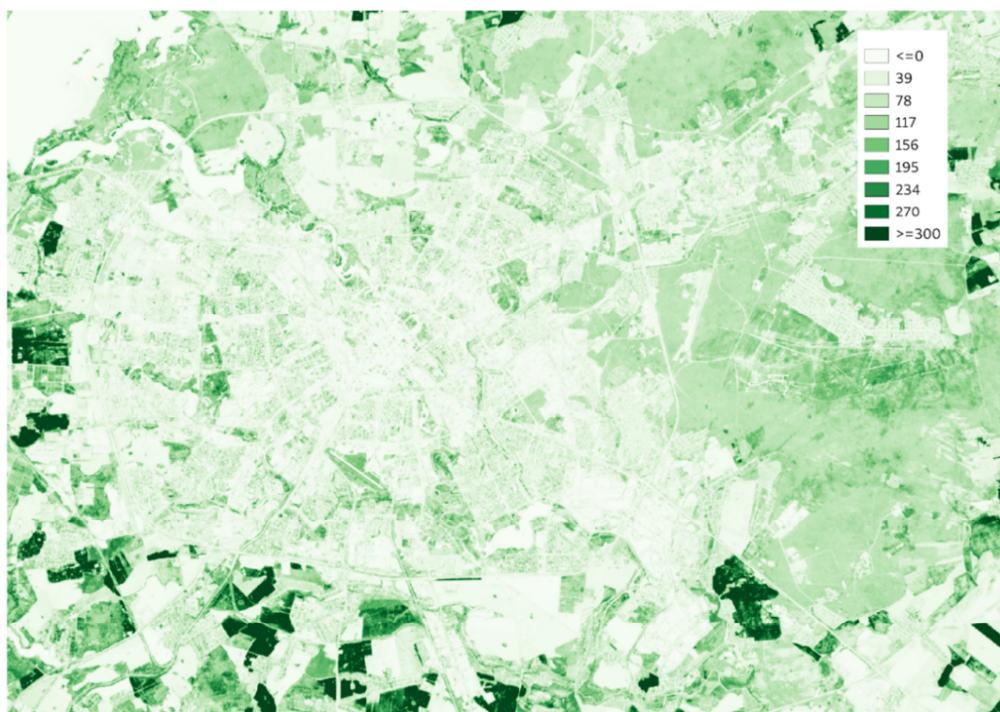


Рис. 2. Распределение значений ССС на территории г. Минска
(по данным Sentinel-2; дата съемки 12.08.2017 г.)

Fig. 2. Distribution of CCC values for the territory of Minsk
(by Sentinel-2; survey date 08/12/2017)

Для дифференцированного анализа данных ДЗЗ в пределах современной и перспективной городской черты г. Минска в ГИС подготовлена повыделельная схема его структурно-планировочной организации, приближенная к дате снимка (рис. 3). При этом городская территория дифференцирована на выделы анализа и картографирования в разрезе кварталов (группы кварталов) застройки и различных типов ландшафтно-рекреационных территорий. В застроенной части города по виду и интенсивности преимущественного использования выделялись следующие функциональные типы застройки: жилая многоквартирная (различной плотности), усадебная (различной плотности), смешанная, общественная различных видов, производственно-коммунальная, специальная. Отдельно выделялись участки застройки и незавершенного строительства (УЗ). Озелененные территории вне кварталов застройки на основании материалов исследований и ведомственного учета были дифференцированы на парки, скверы, сады, бульвары, озелененные территории общественных центров (ОТОЦ), производственно-коммунальных зон (ОТПКЗ). Среди них выделялись также относительно мало трансформированные территории природного комплекса (леса, древесно-кустарниковая растительность, в том числе особо охраняемые территории). Отдельно выделялись сельскохозяйственные земли (РОТсх), неблагоустроенные озелененные территории, покрытые древесно-кустарниковой растительностью (РОТдк), в защитных зонах коммуникаций и дорог (РОТз), другие резервные территории (пустыри и неудобья) (РОТ). Всего в составе городской территории анализировалось около тысячи выделов в застроенной части города и шестьсот участков на незастроенных территориях, где размещены парки, скверы, бульвары, а также расположены резервные озелененные территории. Леса дифференцировались в разрезе лесоустроительных выделов (3,7 тыс.) на основании данных лесоустройства (по состоянию на 2015 г.). Каждый выдел дифференциированной схемы был проиндексирован.

Дифференцированная схема структурно-планировочной организации территории г. Минска приведена на рис. 3.

Данные ДЗЗ анализировались в разрезе структурно-планировочных выделов городской территории различного функционального использования. Для каждого выдела извлекли значения индексов и ССС для всех пикселей, центры которых попали в данный выдел. Для оценки озелененности выделялись рассчитывали отношения числа пикселей с растительностью к общему числу пикселей выдела.



Рис. 3. Схема распределения структурно-планировочных выделов различного функционального назначения на территории г. Минска

Fig.3. The distribution scheme of structural-planning sections of various functional purposes in the territory of Minsk

Выбор граничного значения индекса NDVI для отделения покрытой растительностью территории является существенной проблемой при оценке ее озелененности. Травянистым угодьям разной степени разреженности, как правило, соответствуют значения NDVI приблизительно в диапазоне 0,2–0,4 [15]. В данной работе при выделении озелененных территорий в г. Минске использовался критерий $NDVI > 0,4$. Такое пороговое значение установлено путем сопоставления данных о площадях озелененных территорий, полученных в процессе учета объектов растительного мира на отдельных территориях, а также данных, полученных ранее с использованием материалов дешифрирования аэрофотосъемки с результатами оценки по спутниковому снимку.

Для каждого содержащего растительность выдела рассчитывались средние, минимальные и максимальные значения NDVI, GNDVI, LAI и CCC, а также стандартное отклонение анализируемых показателей в выделе. Примеры распределения средних значений индексов NDVI, GNDVI, LAI и показателя CCC, а также их стандартных отклонений для территории г. Минска в разрезе структурно-планировочных выделов приведены на рис. 4–9. Средние и максимальные значения, а также стандартные отклонения значений NDVI, характерные для озелененных территорий в выделах различного функционального использования приведены на рис. 10, а средние, максимальные и минимальные значения, а также стандартные отклонения значений LAI и CCC, характерные для озелененных территорий в выделах различного функционального использования, – на рис. 11, 12.

Как видно из рис. 4–12, наиболее высокие средние показатели отмечаются для индексов NDVI, GNDVI, LAI, а также CCC преимущественно в лесах и лесопарках. При этом средние значения $NDVI > 0,8$ отмечаются в лесах не часто (рис. 4) и характерны, в основном, для выделов леса с преобладанием в их составе древостоев березы, ивы, тополя, ясеня. В сосновых лесах эти показатели несколько ниже. Подобное явление возможно объяснить исследованиями, при которых выявлено, что для многих видов растений значение коэффициента отражения листьев в ближней ИК области спектра определяется отношением площади поверхности клеток мезофилла к объему межклеточного воздушного пространства [18]. Виды с более плотными листьями, с более толстыми клеточными стенками имеют меньше воздушных полостей, меньше внутриклеточной жидкости и поэтому характеризуются более низким значением коэффициента отражения в ближнем ИК диапазоне, чем мягкие листья [9, 19].

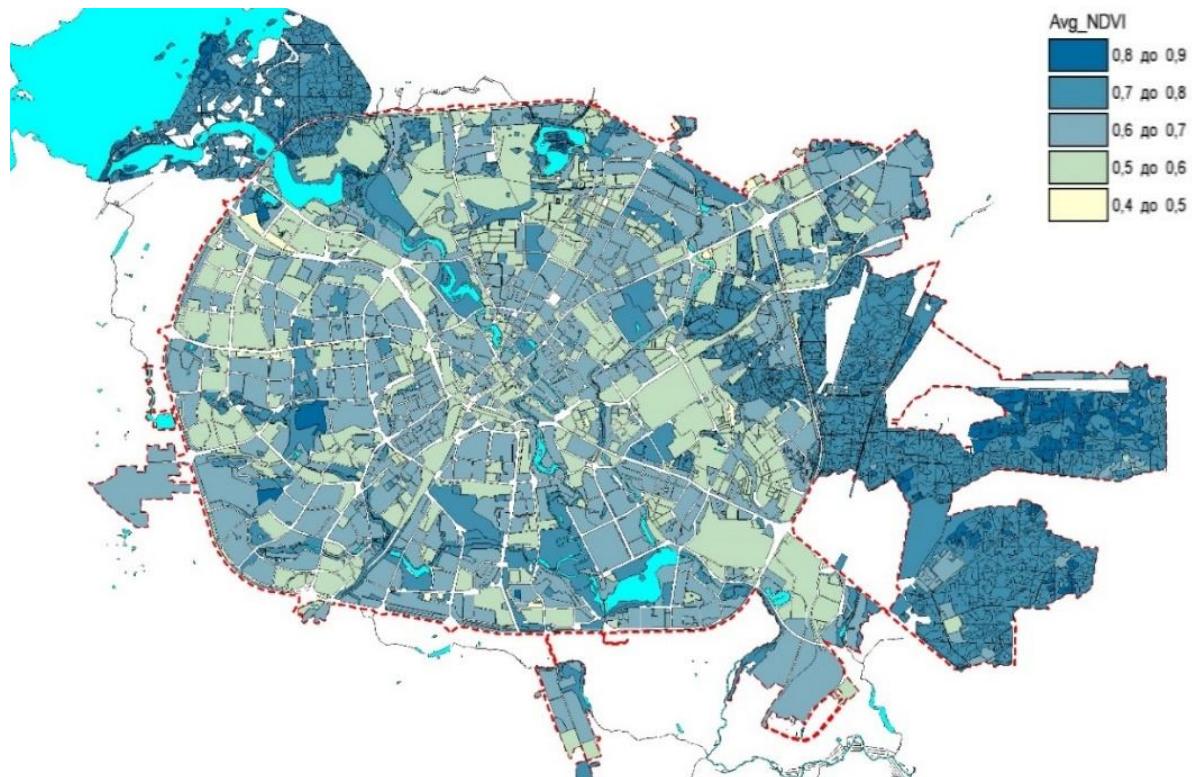


Рис. 4. Схема распределения средних значений NDVI на озелененных территориях в основных структурно-планировочных выделах г. Минска

Fig. 4. The distribution scheme of average values NDVI in green areas in the main structural-planning sections of Minsk

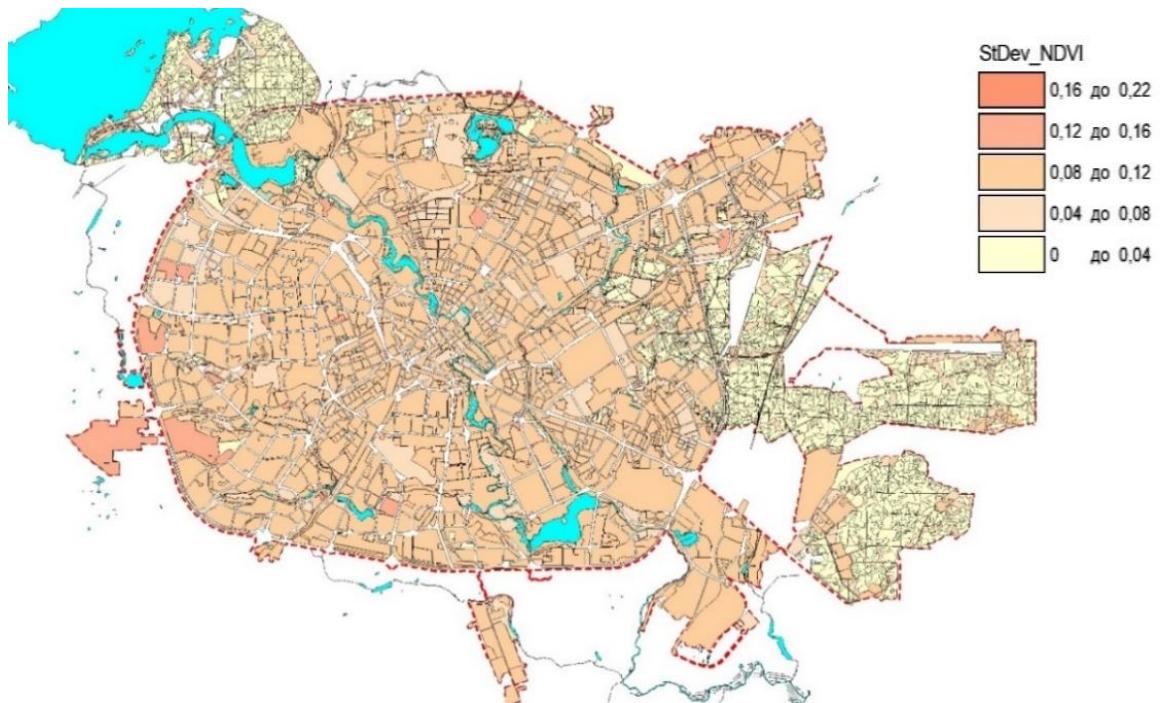


Рис. 5. Схема распределения стандартного отклонения NDVI для озелененных территорий в основных структурно-планировочных выделах г. Минска

Fig. 5.The distribution scheme of the standard deviation NDVI for green areas in the main structural-planning sections of the city of Minsk

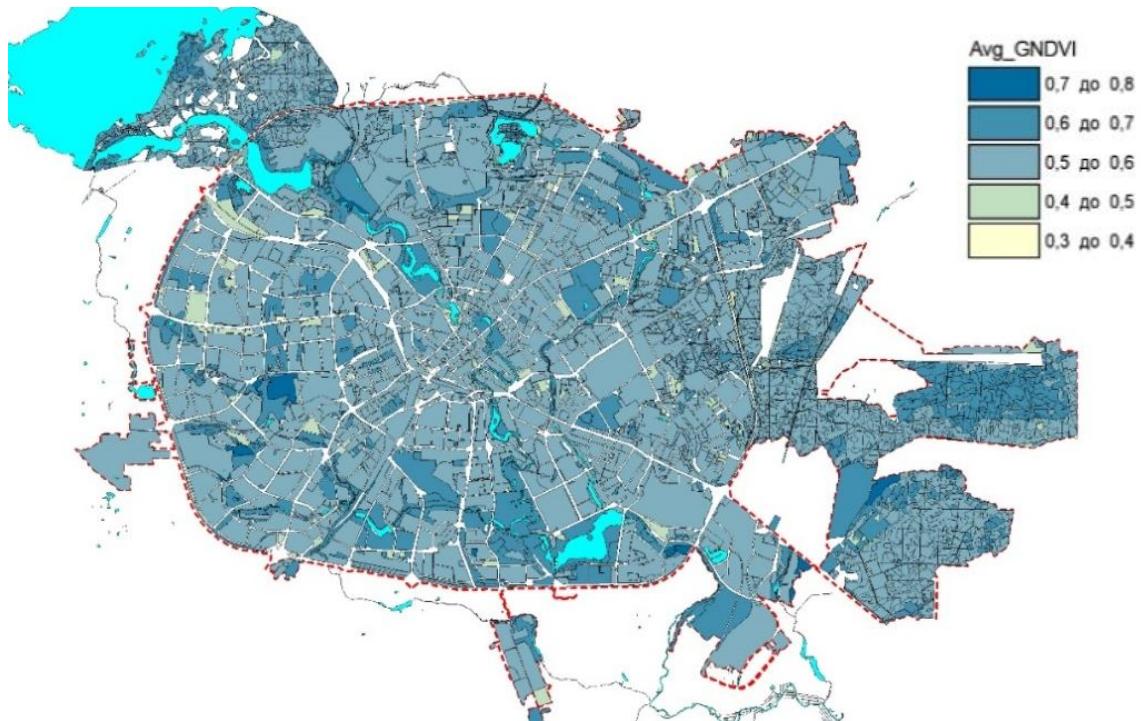


Рис. 6. Схема распределения средних значений GNDVI на озелененных территориях в основных структурно-планировочных выделах г. Минска

Fig. 6. Scheme of distribution of average values GNDVI in green areas in the main structural-planning sections of Minsk

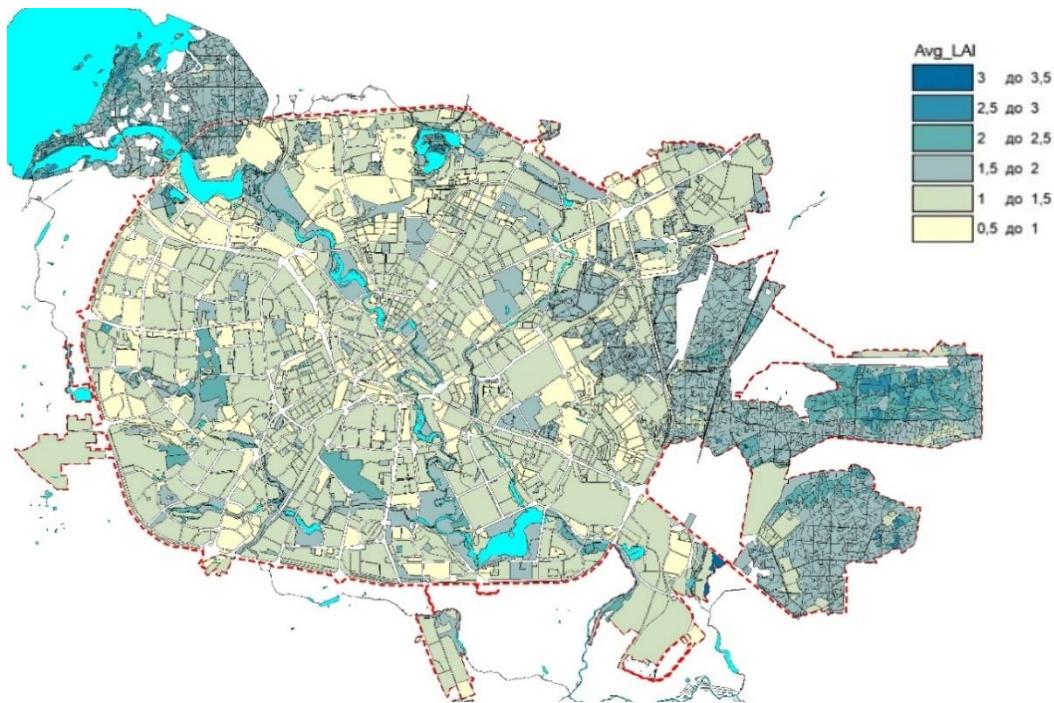


Рис. 7. Схема распределения средних значений LAI на озелененных территориях в основных структурно-планировочных выделах г. Минска

Fig. 7. Scheme of distribution of average values LAI in green areas in the main structural-planning sections of Minsk

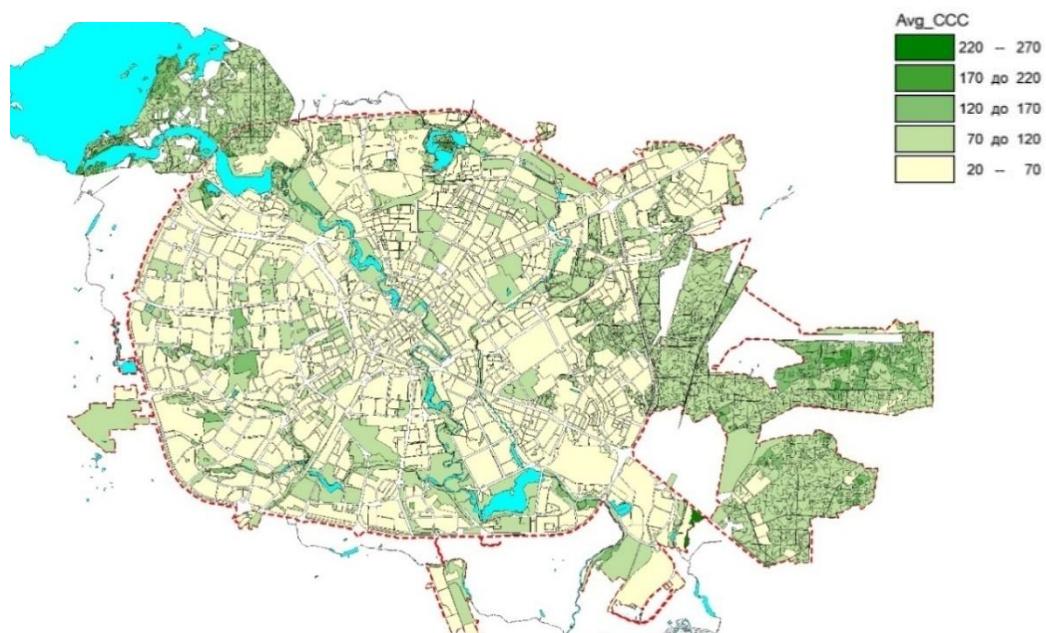


Рис. 8. Схема распределения средних значений CCC на озелененных территориях в основных структурно-планировочных выделах г. Минска

Fig. 8. Scheme of distribution of average values CCC in green areas in the main structural-planning sections of Minsk

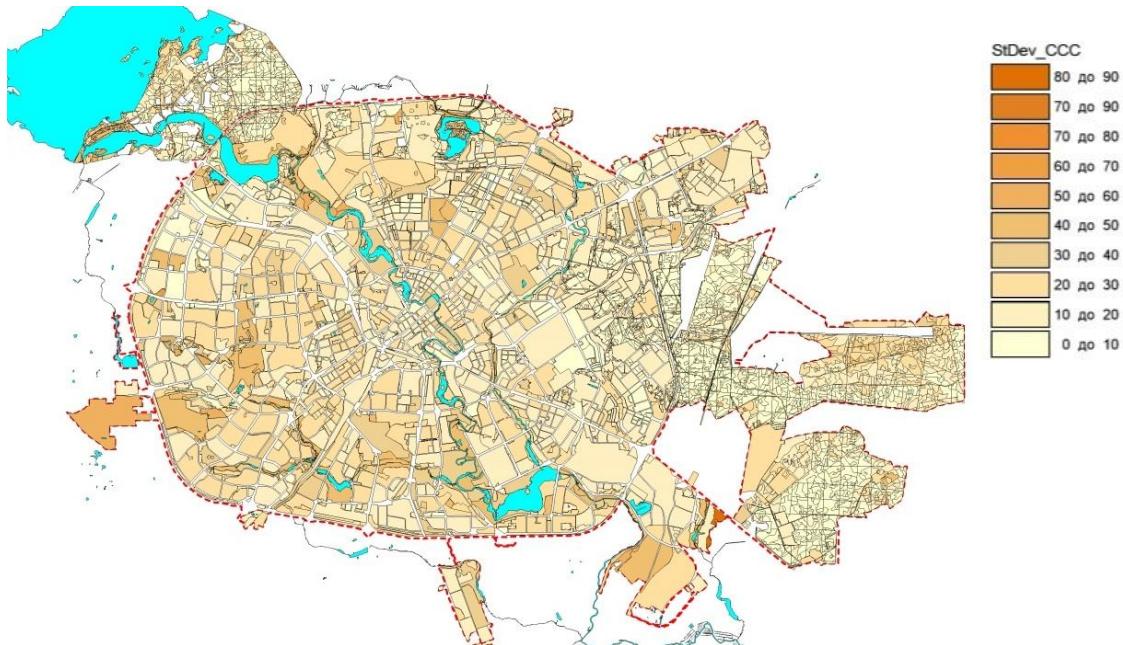


Рис. 9. Схема распределения значений стандартного отклонения CCC_{Avg} на озелененных территориях в основных структурно-планировочных выделах г. Минска

Fig. 9. Scheme of distribution of the standard deviation CCC_{Avg} in green areas in the main structural-planning sections of Minsk

При анализе данных ДЗЗ следует учесть и тот факт, что при дистанционных исследованиях спектрорадиометрами фиксируется не только основной ярус древесной и кустарниковой растительности, но и подрост, кустарниковый ярус и травянистая растительность, расположенные под пологом древостоев, на прогалинах, полянах.

Для большей части лесных массивов на территории Минска, представленных монодоминантными и смешанными сосновыми лесами средние показатели NDVI варьируют в пределах 0,7–0,8. В сосновых лесах, например, эти показатели ниже, чем в березняках, ивняках, осинниках, топольниках. Средние значения LAI также варьируют в различных выделах леса (от 0,5 до 3,3), и средний показатель для лесов Минска оценивается 1,8 (стандартное отклонение 0,2). Эти значения зависят от видового состава древостоев, их возраста, полноты и других показателей. Леса города характеризуются сравнительно высокими средними показателями содержания в пологе хлорофилла (CCC) (см. рис. 8). Для большей части городских лесов характерны наиболее низкие значения стандартного отклонения CCC в выделе, что характеризует равномерность распределения растительного покрова (см. рис. 9).

В парках г. Минска в отличие от лесов и лесопарков высока доля рекреационной инфраструктуры (дорожек, площадок). В большинстве парков Минска растительный покров менее однородный, чем в лесах, так как включает разнородные и разновозрастные группы и массивы деревьев, значительную долю открытых озелененных пространств – полян, прогалин. Травянистый покров в парках подвергается косьбе. Значительная доля открытых озелененных пространств особенно характерна для парков в составе водно-зеленой системы г. Минска. В древостоях парков высоко участие твердолиственных пород (клена, ясения, дуба, конского каштана и др.), встречаются мягколиственные, доля участия хвойных пород ниже, за исключением парка Челюскинцев, где часто встречается сосна. Средние значения NDVI в парках города варьируют в пределах 0,56–0,75 (NDVI_{StDev} – в пределах 0,4–0,11), максимальные значения NDVI колеблются в пределах от 0,78 до 0,9. Средние показатели LAI изменяются от 0,83 до 2,17 при стандартных отклонениях от 0,22 до 0,67, достигая максимальных значений LAI в различных парках от 1,8 до 4,3. Среднее значение содержания в пологе хлорофилла варьирует в пределах 39–117 мкг/см², при стандартных отклонениях 10–46 мкг/см², максимальные значения CCC находятся в пределах от 90 до 342 мкг/см² (последнее зарегистрировано в парке на основе старого плодового сада по ул. Рафиева вблизи микрорайона Запад). Анализ данных и картосхем распределения средних значений исследуемых показателей (см. рис. 4–9) демонстрирует сравнительно высокие показатели по всем индексам в крупных парках (Севастопольский, Челюскинцев, Победы, Курасовщина, Я. Купалы и др.). Сравнительно низкие показатели в ряду парков характерны для парка Слепянской водной системы вблизи Национальной библиотеки Беларусь, что объясняется превалированием в составе парка открытых пространств с участием газонов, кустарников, невысокой плотностью и небольшим возрастом древесных насаждений.

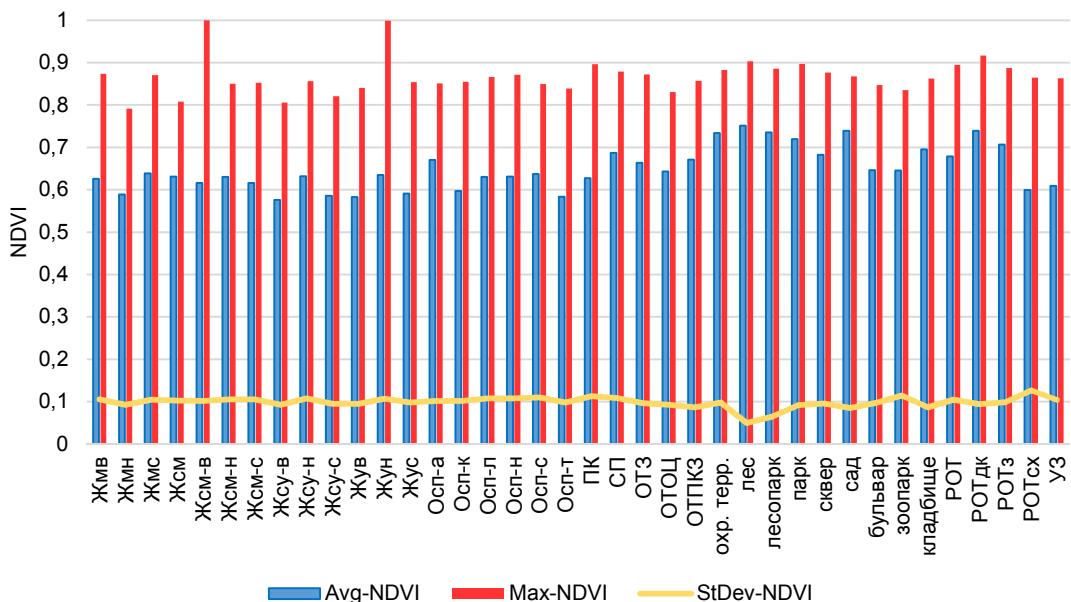


Рис. 10. Средние и максимальные значения, а также стандартные отклонения NDVI на озелененных территориях в выделах различного функционального использования

Fig. 10. Average and maximum values and standard deviations of NDVI, for green areas in sections of various functional use

Сокращения здесь и далее / Reductions here and further

Обозначение	Тип территории	Area type
ЖМВ	Жилая многоквартирная высокоплотная застройка	Residential high-dense building
ЖМН	Жилая многоквартирная низкоплотная застройка	Residential low-dense building
ЖМС	Жилая многоквартирная среднеплотная застройка	Residential medium-dense building
ЖСМ	Жилая смешанная застройка	Residential mixed building
ЖСМ-В	Жилая смешанная высокоплотная застройка	Residential mixed high-dense building
ЖСМ-Н	Жилая смешанная низкоплотная застройка	Residential mixed low-dense building
ЖСМ-С	Жилая смешанная среднеплотная застройка	Residential mixed medium-dense building
ЖСУ-В	Жилая смешанная усадебная высокоплотная застройка	Residential mixed manor high-dense building
ЖСУ-Н	Жилая смешанная усадебная низкоплотная застройка	Residential mixed manor low-dense building
ЖСУ-С	Жилая смешанная усадебная среднеплотная застройка	Residential mixed manor medium-dense building
ЖУВ	Жилая усадебная высокоплотная застройка	Residential manor high-dense building
ЖУН	Жилая усадебная низкоплотная застройка	Residential manor low-dense building
ЖУС	Жилая усадебная среднеплотная застройка	Residential manor medium-dense building
ОСП-А	Общественная административно-деловая застройка	Public administrative and business building
ОСП-К	Общественная культурно-просветительская застройка	Public cultural and elucidative building
ОСП-Л	Общественная лечебно-профилактическая застройка	Public medical and preventive building
ОСП-Н	Общественная научно-образовательная застройка	Public scientific and educational building
ОСП-С	Общественная спортивная застройка	Public sports building
ОСП-Т	Общественная торговая застройка	Public trade building
ПК	Производственно-куммунальная застройка	Industrial and communal building
СП	Территории специального назначения	Special territories
Охр. терр.	Особо охраняемые природные территории	Specially protected natural areas
Лес		Forest
Лесопарк		Forest park
Парк		Park
Сквер		Square
Сад		Garden
Бульвар		Boulevard
Зоопарк		Zoo
Кладбище		Cemetery
ОТЗ	Озелененные территории транспортных зон	Green areas of transport zones
ОТОЦ	Озелененные территории общественных центров	Green areas of public centers
ОТПКЗ	Озелененные территории производственно-коммунальных зон	Green areas of industrial and communal zones
РОТ	Резервные озелененные территории	Reserve green areas
РОТДК	Резервные озелененные территории с древесно-кустарниковой растительностью	Reserve green areas with trees and shrubs
РОТЗ	Резервные озелененные территории в защитных зонах коммуникаций и дорог	Reserve green areas in the protection zones of communications and roads
РОТСХ	Сельскохозяйственные земли	Agricultural land
УЗ	Участки незавершенного строительства	Areas of construction in progress

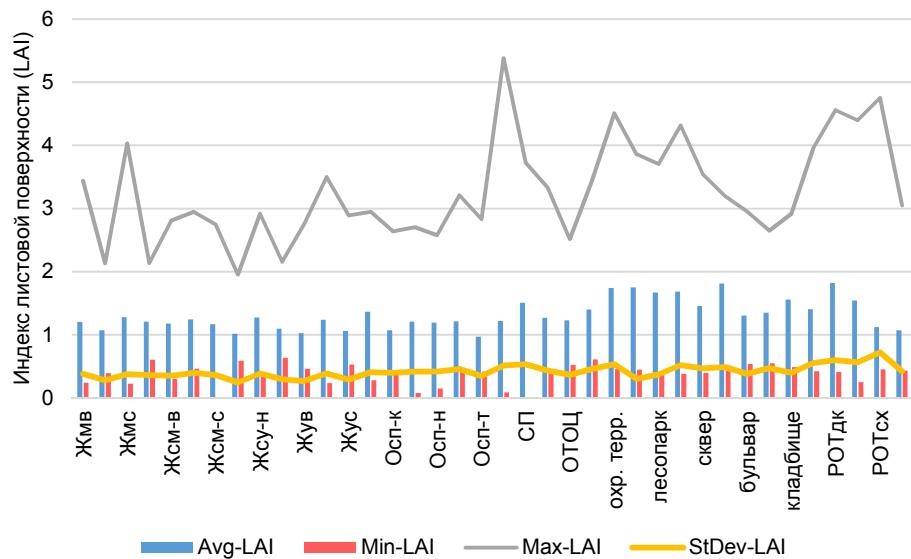


Рис. 11. Средние, максимальные и минимальные значения, а также стандартные отклонения LAI, для озелененных территорий в выделах различного функционального использования г. Минска

Fig. 11. Average, maximum and minimum values and standard deviations of LAI for green areas in sections of various functional use in Minsk

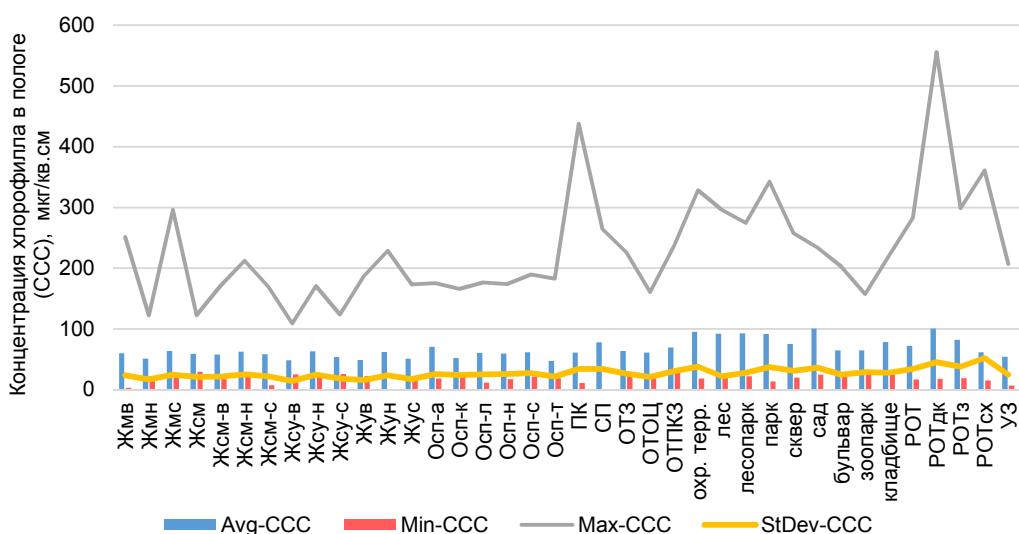


Рис. 12. Средние, максимальные и минимальные значения, а также стандартные отклонения значений CCC, характерные для озелененных территорий в выделах различного функционального использования г. Минска

Fig. 12. Average, maximum and minimum values and standard deviations of CCC for green areas in sections of various functional use in Minsk

Городские скверы, как правило, меньше парков, варьируют в размерах, в особенностях местоположения (обычно расположены среди плотной застройки), имеют относительно более развитую систему дорожек, площадок. Растительный покров включает группы и солитеры деревьев, кустарников, газоны. В древостоях велико участие твердо- и мягкотканственных пород, иногда превалируют кустарники. Средние значения NDVI на озелененных территориях в скверах г. Минска варьируют в пределах 0,49–0,8 (NDVI_{StDev} – от 0,03 до 0,12), максимальные значения NDVI отмечаются в пределах от 0,54 до 0,88. Средние показатели LAI изменяются от 0,69 до 2,12 при стандартных отклонениях 0,02 до 0,6, достигая максимальных значений в различных скверах от 0,76 до 3,54. Среднее значение содержания в пологе хлорофилла в насаждениях скверов варьирует в широких пределах (29–124 мкг/см²) при стандартных

отклонениях от 1 до 41 мкг/см², максимальные значения ССС в различных скверах находятся в диапазоне от 35 до 257 мкг/см².

В составе насаждений бульваров Минска средние значения NDVI изменяются в пределах 0,49–0,68 ($NDVI_{StDev}$ – от 0,01 до 0,11), максимальные показатели варьируют от 0,52 до 0,85. Средние показатели LAI изменяются от 0,7 до 1,6 при стандартных отклонениях 0,01 до 0,35, достигая максимальных значений для различных бульваров от 0,8 до 2,8. Средняя концентрация хлорофилла в насаждениях бульваров варьирует в пределах 32–79 мкг/см² при стандартных отклонениях от 0,4 до 32 мкг/см², максимальные значения ССС различных бульваров находятся в диапазоне от 32 до 203 мкг/см².

Помимо лесов и благоустроенных ландшафтно-рекреационных объектов значительную долю в составе незастроенных участков города занимают так называемые резервные озелененные территории. К ним отнесены сельскохозяйственные земли (РОТсх), неблагоустроенные озелененные территории с преобладанием древесно-кустарниковой растительности (РОТдк), расположенные как в поймах рек, так и на других участках города, а также защитные насаждения вблизи дорог, коммуникаций, промзон (РОТз) и другие резервные озелененные территории, занятые преимущественно рудеральной растительностью (РОТ). Эти участки отличаются размерами; по структуре растительного покрова они весьма разнородны.

Анализ показателей РОТсх показывает, что на землях сельскохозяйственного использования в границах города средние значения NDVI варьируют в пределах 0,53–0,74 ($NDVI_{StDev}$ – 0,06–0,14), максимальные показатели NDVI изменяются в пределах 0,63–0,86. Средние значения LAI изменяются от 0,7 до 3,5 при стандартных отклонениях от 0,1 до 0,6, достигая максимальных значений LAI от 0,9 до 4,8. Средние значения ССС на сельхозугодьях варьируют в пределах 35–250 мкг/см² при стандартных отклонениях 5–107 мкг/см², максимальные значения ССС находятся в диапазоне от 46 до 361 мкг/см².

В составе насаждений РОТдк в г. Минске преобладают лиственные породы деревьев (ивы, осины, березы, встречается ольха (в поймах рек), клены, тополя), очень редко – хвойные породы. Средние значения NDVI варьируют в пределах 0,57–0,82 ($NDVI_{StDev}$ – 0,02–0,12), максимальные показатели NDVI варьируют от 0,67 до 0,91. Средние показатели LAI изменяются от 0,89 до 2,5 при стандартных отклонениях от 0,08 до 0,78, достигая максимальных значений LAI от 1,0 до 4,2. Средние значения содержания в пологе хлорофилла в таких насаждениях варьируют в пределах 44–156 мкг/см² при стандартных отклонениях 6–56 мкг/см², максимальные значения ССС находятся в пределах от 51 до 556 мкг/см². Наиболее высокие показатели зарегистрированы на озелененных территориях в отдельных высокосомкнутых массивах древесно-кустарниковой растительности в западной части города. Например, среднее значение $NDVI = 0,82$ имеет бывший питомник древесных культур, расположенный в крупнохолмистом урочище вблизи ул. Пономаренко. Древесные насаждения здесь представлены молодыми и средневозрастными высокоплотными (часто по несколько деревьев в лунке) посадками клена остролистного, дуба красного, липы мелколистной, ореха маньчжурского, конского каштана, граба обыкновенного, березы повислой и других древесных видов. На этом же участке встречаются массивы кустарников (спирея, ивы). Прогалины и поляны на момент исследований покрыты зарослями борщевика Сосновского, золотарника канадского, люпина (высота травянистого покрова достигает 0,6–1,0 м).

В застроенной части города показатели NDVI, GNDVI, LAI и ССС анализировались для озелененных территорий в кварталах застройки, имеющих различный тип функционального использования.

В кварталах жилой многоквартирной и смешанной застройки различной плотности растительный покров сформирован небольшими массивами или разреженными группами деревьев и кустарников, с преобладанием лиственных пород (клены, липы, ясени, каштаны, фруктовые деревья, изредка – березы, сирень, боярышник), редко встречаются хвойные. Газоны высоко фрагментированы дорожками, тропами. Средние значения NDVI варьируют в пределах 0,59–0,64, регистрируются отдельные пиксели с $NDVI = 1$. Для выделов жилой многоквартирной застройки стандартное отклонение NDVI варьирует в пределах 0,09–0,11. Средние показатели LAI лежат в диапазоне 1,1–1,3 при стандартном отклонении 0,3–0,4, достигая максимальных значений, близких к 4. Концентрация хлорофилла в среднем оценивается в 51–64 мкг/см² при стандартных отклонениях 17–25 мкг/см², наиболее высокие показатели близки к 300 мкг/см². Анализ картосхем распределения средних значений исследуемых показателей (см. рис. 4–9) демонстрирует их пониженные значения в жилых кварталах с высокоплотной многоквартирной застройкой (Кунцевщина, Каменная горка, Лошица, Сухарево, Уручье), а также в центральной части города.

Растительный покров жилой усадебной застройки различной плотности характеризуется показателями, сравнимыми с жилой многоквартирной. Так $NDVI_{Avg}$ варьирует в пределах 0,59–0,63,

$NDVI_{StDev}$ – 0,09–0,11. Показатели LAI практически сходны с таковыми в жилой многоквартирной застройке (LAI_{max} близко к 3,5). Среднее значение CCC варьирует в пределах 49–63 мкг/см² (CCC_{StDev} – 14–25), наиболее высокие зарегистрированные значения – 229 мкг/см².

В кварталах общественной застройки (административно-деловой, лечебно-оздоровительной, культурно-просветительской, научно-образовательной, спортивной, торгово-бытовой) средние значения NDVI варьируют в пределах от 0,58 до 0,67, значения $NDVI_{StDev}$ – от 0,10 до 0,11. Средний LAI находится в пределах от 0,97 до 1,37 и достигает максимальных значений 3,2. Средние показатели содержания в пологе хлорофилла находятся в пределах 47–71 мкг/см², при стандартном отклонении 22–26 и максимальном значении 190. Наиболее высокие показатели средних значений всех индексов характерны для насаждений административно-деловой, а низкие – для торгово-бытовой застройки.

Насаждения в составе производственно-коммунальных, а также специальных территорий характеризуются средними NDVI в пределах 0,63–0,69 ($NDVI_{StDev}$ – 0,11), LAI_{Avg} 1,2–1,5 (LAI_{StDev} – 0,5), при зарегистрированных максимальных значениях 5,4. Средние значения CCC варьируют в пределах 61–78 мкг/см² (CCC_{StDev} – 34), наиболее высокие значения – 438 мкг/см². Высокие максимальные показатели LAI и CCC возможно объяснить зачастую значимым участием в составе насаждений на промышленных территориях насаждений тополя, зарослей ивы, березы, осины. В состав производственно-коммунальной застройки входят также объекты коммунального назначения, среди них, например производственная база и питомник УП «Минскзеленстрой». Возможно влияние и других факторов на значения индексов в производственно-коммунальных зонах, что требует дополнительных исследований. Интересно отметить, что высокие показатели всех индексов отмечались для озелененных территорий бывшего аэропорта Минск-1, покрытых преимущественно травянистой растительностью (см. рис. 4–9).

Используя отношение числа пикселей со значениями NDVI, соответствующими растительности, к общему числу пикселей в выделе построили картосхему озелененности городской территории в разрезе структурно-планировочных выделов (рис. 13).

Дифференцированная схема озелененности структурно-планировочных выделов различного функционального назначения в Минске, полученная на основе индекса NDVI, показывает низкие показатели озелененности территорий основных градообразующих предприятий, отдельных участков жилой высокоплотной застройки (например, в микрорайонах Лошица, Каменная горка, Уручье и др.), а также в центральной части города. Невысокие показатели характерны и для участков незавершенного строительства, а также большинства сельхозугодий.

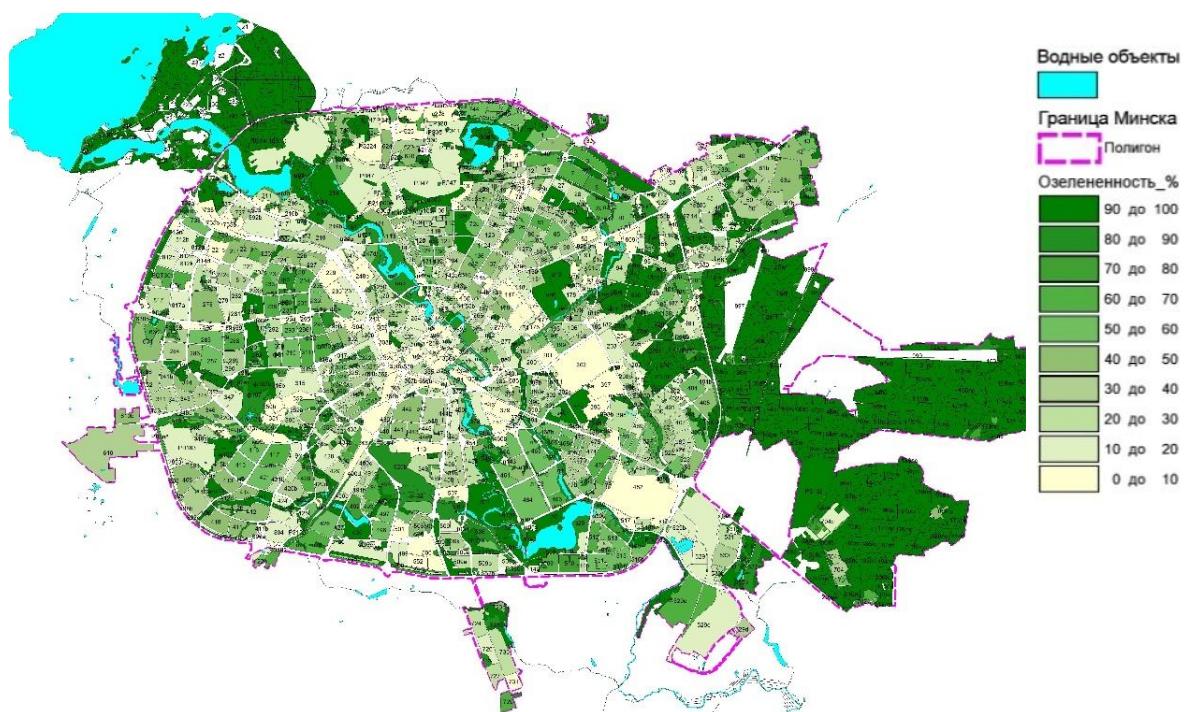


Рис. 13. Схема озелененности структурно-планировочных выделов различного функционального назначения в г. Минске

Fig. 13. Scheme of greening of structural-planning sections of various functional purposes in Minsk

Заключение. В статье проанализированы значения индексов (NDVI, GNDVI, LAI) и содержания в пологе хлорофилла (CCC), полученные по данным Д33 (Sentinel-2) для территории г. Минска. Данные анализировались в разрезе структурно-планировочных единиц городской территории различного функционального использования. Полученные дифференцированные схемы распределения вегетационных индексов (NDVI, GNDVI), LAI, а также содержания хлорофилла, демонстрируют неоднородность их распределения на территории города. Обобщенные в разрезе типов функционального использования данные показывают более низкие их значения в застроенной части города по сравнению с таковым в лесах, парках, скверах, на резервных озелененных территориях с высоким участием древесно-кустарниковой растительности. Это возможно объяснить несколькими причинами: с одной стороны – менее благоприятными условиями функционирования растительного покрова в застроенной части города, приводящего к снижению жизненного состояния насаждений, а с другой – большей фрагментацией растительного покрова в жилой, общественной и промышленной застройке, что может отражаться на данных Д33 при размерах пикселя 10×10 м. Зарегистрированные высокие максимальные значения LAI и CCC в промышленных зонах возможно объяснить наличием на территории ряда предприятий высокопродуктивных насаждений тополя. Однако возможны и другие причины, которые предстоит исследовать в дальнейшем. Одна из них, например, активизация фотосинтезирующей активности растений в условиях повышенных концентраций CO₂.

Наиболее высокие средние значения NDVI, GNDVI, LAI, CCC имеют место в лесах, лесопарках, парках, на ООПТ. Низкие значения стандартного отклонения данных показателей отмечаются в лесах, что мы связываем с более однородной структурой лесных сообществ. На резервных озелененных территориях РОТсх и РОТдк повышается варьирование всех анализируемых показателей, что указывает на неравномерность структуры и состояния растительного покрова на них. Сравнительно более низкие значения всех показателей регистрируются на озелененных территориях бульваров, транспортных зон и на сельскохозяйственных угодьях.

Используя отношение числа пикселей со значениями NDVI, соответствующими растительности, к общему числу пикселей в выделе построена дифференцированная схема озелененности городской территории в разрезе структурно-планировочных выделов. Она позволяет идентифицировать участки города с низкими показателями озелененности, что весьма актуально для контроля соблюдения норм озелененности в процессе градостроительного освоения городских территорий, для определения экосистемных функций растительного покрова в городах, например, роли в формировании островов тепла.

Следует отметить, что возможности использования данных Д33 для оценки структуры и состояния растительного покрова, выполнения им экосистемных функций на урбанизированных территориях необходимо уточнять в процессе подспутниковых исследований на тестовых полигонах. Анализ данных Д33 и синхронизированных наземных исследований позволят детализировать особенности различных вегетационных индексов, их чувствительность, специфичность и расширят возможности применения технологий Д33 в процессе сбора, обработки и анализа информации о растительном покрове, его состоянии, продуктивности.

Список использованных источников

1. Кравчук, Л. А. Структурно-функциональная организация ландшафтно-рекреационного комплекса в городах Беларуси / Л. А. Кравчук. – Минск : Беларуская навука, 2011. – 171 с.
2. Яновский, А. А. Автоматизированная дистанционная экспресс-оценка расположения зарослей *Phragmites australis*, перспективных для заготовки энерготехнологической фитомассы / А. А. Яновский, О. В. Созинов // Растительные ресурсы. – 2017. – Т. 53, № 4. – С. 555–580.
3. Кренке, А. Н. Построение карты ландшафтного покрова на основе дистанционной информации / А. Н. Кренке, Ю. Г. Пузаченко // Экологическое планирование и управление. – 2008. – № 2 (7). – С.10–25.
4. Remote sensing of urban and suburban areas ; eds. T. Rashed, C. Jürgens. – Springer Netherlands, 2010. – 352 p. – Mode of access : <http://bookre.org/reader?file=1219945>. – Date of access: 25.04.2018.
5. Максимов, М. М. Использование данных дистанционного зондирования Земли для временного анализа пространственной дифференциации и состояния зеленых зон г. Минска за период с 1997 по 2015 г. / М. М. Максимов, А. С. Скачкова, Д. М. Курлович // Земля Беларуси. – 2016. – № 4. – С. 42–44.
6. Оценка ландшафтных функций урбогеосистем г. Тюмени / Т. И. Харитонова [и др.] // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов : материалы XIII Междунар. ландшафтной конф., посвящ. столетию со дня рожд. Ф. Н. Милюкова, Воронеж, 14–17 мая, 2018 г., в 2 т. ; ред. В. Б. Михно [и др.]. – Воронеж : ИСТОКИ, 2018. – Т. 1. – С. 275–277.
7. Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation / C. J. Tucker // Remote Sens. Environ. – 1979. – Vol. 8, iss. 2. – P. 127–150.

8. Blackburn, G. A. Hyperspectral remote sensing of plant pigments / G. A. Blackburn // Journal of experimental botany. – 2006. – Vol. 58, №. 4. – P. 855–867.
9. Ustin, S. L. Remote sensing of plant functional types / S. L. Ustin, J. A. Gamon // New Phytologist. – 2010. – Vol. 186. – P. 795–816.
10. Gitelson, A. A. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS / A. A. Gitelson, Y. J. Kaufman, M. N. Merzlyak // Remote sensing of Environment. – 1996. – Vol. 58, №. 3. – Pp. 289–298.
11. Ермолова. Л. С., Уткин, А. И. Удельная листовая поверхность основных лесообразующих пород России / Экология. – 1998. – № 3. – С. 178–183.
12. Бондаренко, В. В. Определение индекса листовой поверхности на основе анализа цифровых изображений кроны и его использование для оценки категории состояния деревьев / В. В. Бондаренко, О. В. Кормилицына, Д. Колен // Лесоведение. – № 1. – 2016. – С. 94–98.
13. Weiss, M. S2ToolBox Level 2 Products: LAI, FAPAR, FCOVER (Ver. 1.1) / M. Weiss, F. Baret. – 02.05.2016. – 53 p.
14. Кавеленова, Л. М. К перспективам интеграции данных наземного мониторинга, ДЗЗ и ГИС в оценке состояния компонентов природных и антропогенно-преобразованных ландшафтов / Л. М. Кавеленова // Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов : материалы XIII Междунар. ландшафтной конф., посвящ. столетию со дня рожд. Ф. Н. Милькова, Воронеж, 14–17 мая, 2018 г., в 2 т. ; ред. В. Б. Михно [и др.]. – Воронеж : ИСТОКИ, 2018. – Т. 1. – С. 204–206.
15. Sentinel 2 EO products [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access: https://www.sentinel-hub.com/develop/documentation/eo_products/Sentinel2EOProducts. – Date of access: 25.04.2018.
16. Copernicus Open Access Hub (Electronic resource). – 2018. – Mode of access: <https://scihub.copernicus.eu/>. – Date of access: 22.02.2018.
17. Sentinel-2 Toolbox. [Electronic resource]. – 2019. – Mode of access: <http://step.esa.int/main/toolboxes/sentinel-2-toolbox>. – Date of access: 21.02.2019.
18. Serrano, L. Effects of leaf structure on reflectance estimates of chlorophyll content / L. Serrano // International Journal of Remote Sensing. – 2008. – Vol. 29, iss. 17–18. – P. 5265–5274.
19. Abrams, M. D. Leaf structural characteristics of 31 hardwood and conifer tree species in central Wisconsin – influence of light regime and shade-tolerance rank / M. D. Abrams, M. E. Kubiske // Forest Ecology and Management. – 1990. – Vol. 31. – P. 245–253.

References

1. Kravchuk L. A. *Strukturno-funkcional'naya organizaciya landshaftno-rekreacionnogo kompleksa v gorodah Belarusi* [Structural-functional organization of landscape-recreational complex is in the cities of Belarus]. Minsk, Belarusian science Publ., 2011, 171 p. (in Russian)
2. Yanovskij A. A., Sozinov O. V. *Avtomatizirovannaya distacionnaya ekspress-ocenka raspolozheniya zaroslej Phragmites australis, perspektivnyh dlya zagotovki energotekhnologicheskoy fitomassy* [Automated remote express evaluation of the distribution of *Phragmites australis* reed beds prospective for fuel biomass harvesting]. *Rastitelnye resursy = Plant resources*, 2017, vol. 53, no. 4, pp. 555–580. (in Russian)
3. Krenke A. N. *Postroenie karty landshaftnogo pokrova na osnove distacionnoj informacii* [Construction of map of landscape cover on the basis of the controlled from distance information]. *Ekologicheskoe planirovanie i upravlenie = Ecological planning and management*, 2008, no. 2 (7), pp. 10–25. (in Russian)
4. Remote sensing of urban and suburban areas; eds. T. Rashed, C. Jürgens, Springer, Dordrecht, 2010, 352 p. doi:<http://bookre.org/reader?file=1219945>
5. Maksimov M. M., Skachkova, A.S., Kurlovich, D.M. *Ispol'zovanie dannyh distacionnogo zondirovaniya Zemli dlya vremennogo analiza prostranstvennoj differenciacii i sostoyaniya zelenyh zon g. Minska za period s 1997 po 2015 gg* [Use of data of the remote sensing of Earth for the temporal analysis of spatial differentiation and state of green belts Minsk for period from 1997 to 2015]. *Zemlya Belarusi = Earth of Belarus*, 2016, no. 4, pp. 42–44. (in Russian)
6. Kharitonova T. I. *Ocenka landshaftnyh funkciy urbogeosistem g. Tyumeni* [Assessment of landscape functions of the urban geosystems of Tyumen]. *Sovremennoe landshaftno-ekologicheskoe sostoyanie i problemy optimizacii prirodnoj sredy regionov: materialy XIII Mezhdunarodnoj landshaftnoj konferencii, posvyashchennoj stoletiyu so dnya rozhdeniya F. N. Mil'kova* [Proc. XIII Int. landscape conf. sanctified to the century from the day of birth of F. N. Milkov "Modern landscape-ecological state and problems of optimization of natural environment of regions"]. Voronezh, 2018, pp. 275–277. (in Russian)
7. Tucker C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.*, 1979, vol. 8, iss. 2, pp. 127–150. doi:10.1016/0034-4257(79)90013-0
8. Blackburn G. A. Hyperspectral remote sensing of plant pigments. *Journal of experimental botany*, 2006, vol. 58, no. 4, pp. 855–867. doi:10.1093/jxb/erl123
9. Ustin S. L., Gamon J. A. Remote sensing of plant functional types. *New Phytologist*, 2010, vol. 186, pp. 795–816. doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03284.x
10. Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Merzlyak M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote sensing of Environment*, 1996, vol. 58, no. 3, pp. 289–298. doi:10.1016/S0034-4257(96)00072-7
11. Ермолова. Л. С., Уткин А. И. *Udel'naya listovaya poverkhnost' osnovnykh lesobrazuyushchikh porod Rossii* [The specific leaf surface of the main forest-forming species of Russia]. *Ekologiya = Ecology*, 1998, no. 3, pp. 178–183. (in Russian)

12. Bondarenko V. V., Kormilitsyna O. V., Kolen D. *Opredelenie indeksa listovoj poverhnosti na osnove analiza cifrovyh izobrazhenij krony i ego ispol'zovanie dlya ocenki kategorii sostoyaniya derev'e* [Determination of index of sheet surface on the basis of analysis of digital representations of crown and his use for the estimation of category of the state of trees]. *Lesovedeniye = Forest science*, 2016, no. 1. pp. 94–98. (in Russian)
13. Weiss M., Baret F. S2ToolBox Level 2 Products: LAI, FAPAR, FCover (Ver.1.1). 02.05.2016, 53 p.
14. Kavelenova L. M. *K perspektivam integracii dannyh nazemnogo monitoringa, DZZ i GIS v ocenke sostoyaniya komponentov prirodnyh i antropogenno preobrazovannyh landshaftov* [To the prospects of integrating ground monitoring data, remote sensing and GIS in assessing the state of components of natural and man-made landscapes]. *Sovremennoe landshaftno-ekologicheskoe sostoyanie i problemy optimizacii prirodnoj sredy regionov: materialy XIII Mezhdunarodnoj landshaftnoj konferencii, posvyashchennoj stolietiyu so dnya rozhdeniya F. N. Mil'kova* [Proc. XIII Int. landscape conf. sanctified to the century from the day of birth of F. N. Milkov "Modern landscape-ecological state and problems of optimization of natural environment of regions"]. Voronezh, 2018, pp. 204–206. (in Russian)
15. Sentinel 2 EO products. 2018. Available at: https://www.sentinel-hub.com/develop/documentation/eo_products/Sentinel2EOproducts (accessed of 2018, April, 25).
16. Copernicus Open Access Hub. 2018. Available at: <https://scihub.copernicus.eu/> (accessed of 2018, February, 22).
17. Sentinel-2 Toolbox. 2019. Available at: <http://step.esa.int/main/toolboxes/sentinel-2-toolbox> (accessed of 2019, February, 21).
18. Serrano L. Effects of leaf structure on reflectance estimates of chlorophyll content. *International Journal of Remote Sensing*, 2008, vol. 29, iss. 17–18, pp. 5265–5274. doi:10.1080/01431160802036359
19. Abrams M. D., Kubiske M. E. Leaf structural characteristics of 31 hardwood and conifer tree species in central Wisconsin – influence of light regime and shade-tolerance rank. *Forest Ecology and Management*, 1990, vol. 31, pp. 245–253. doi:10.1016/0378-1127(90)90072-J

Информация об авторах

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

Яновский Александр Александрович – канд. техн. наук, науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: yanouski@ya.ru

Баженова Наталья Михайловна – науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: nata.bazh@mail.ru

Пац Андрей Чеславович – мл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: paz_andrej@mail.ru

Information about the authors

Ludmila A. Kravchuk – Ph. D. (Geography), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kravchu-k@yandex.ru

Aleksander A. Yanovskiy – Ph. D. (Technical), Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: yanouski@ya.ru

Natallia M. Bazhenova – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: nata.bazh@mail.ru

Andrei Ch. Pats – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: paz_andrej@mail.ru

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДЕШИФРИРОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ БРЕСТСКОЙ ОБЛАСТИ)

Ю. Ю. Навоша, Н. И. Тановицкая

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Составлен перечень категорий участков торфяных месторождений, качественно отличающихся использованием их ресурсов. Разработаны критерии выделения участков месторождений разных категорий, характеризующих их современное состояние. Показана возможность анализа состояния торфяных месторождений на основе камеральной обработки спутниковых снимков сверхвысокого разрешения.

На основе дешифрирования спутниковых снимков сверхвысокого разрешения проанализировано состояние площадей торфяных месторождений Брестской области, созданы уточненные цифровые карты их контуров и участков различных направлений использования.

Ключевые слова: карты торфяных месторождений; спутниковые снимки; категории торфяных месторождений.

Для цитирования. Навоша Ю. Ю., Тановицкая Н. И. Оценка состояния торфяных месторождений на основе дешифрирования спутниковых снимков сверхвысокого разрешения (на примере Брестской области) // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 168–176.

ASSESSMENT OF PEATLANDS ON THE BASIS OF INTERPRETATION OF SATELLITE IMAGES OF ULTRAHIGH RESOLUTION (ON THE EXAMPLE OF THE BREST REGION)

Yu. Yu. Navosha, N. I. Tanavitskaya

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

Abstract. A list of categories of peatlands, qualitatively different in use of their resources, is performed. Criteria of allocation of sites of peatlands of different categories, characterizing their modern condition, are developed. The possibility of analyzing the state of peatlands on the basis of cameral processing of satellite images of ultrahigh resolution is shown. On the basis of interpretation of satellite images of ultrahigh resolution the condition of the areas of peatlands of the Brest region is analyzed, the refined digital maps of their contours and sites of various directions of use are created.

Key words: maps of peatlands; satellite images; peatlands categories.

For citation. Navosha Yu. Yu., Tanavitskaya N. I. Assessment of peatlands on the basis of interpretation of satellite images of ultrahigh resolution (on the example of the Brest region). *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 168–176.

Введение. Торфяной фонд Республики Беларусь, включающий на 01.01.2013 г. (на основе имеющихся данных разведок за весь предыдущий период времени) 8535 торфяных месторождений и их участков, занимающих площадь ~2382 тыс. га с общими геологическими запасами, составляющими на момент разведки ~4,0 млрд т (при условной 40 %-ной влажности) [1], является важным сырьевым ресурсом государства – в прошлом веке торфяные месторождения интенсивно разрабатывались для нужд энергетики и сельского хозяйства – максимальная добыча торфа в 1970-е годы составляла до 40 млн т в год.

Не менее важное значение имеют и ненарушенные торфяные месторождения – торфяные болота, которые выполняют разнообразные биосферные функции, оказывая большое влияние на природные процессы. Болота и болотные комплексы представляют собой весьма специфические и уникальные природные местообитания для биоразнообразия. Почти все виды растений и животных, обитающих на болотах, являются редкими или уязвимыми, так как могут обитать только на болотах, и сокращение площади болот неизбежно ведет к сокращению численности, а иногда и к полному исчезновению многих уникальных видов и популяций. Важнейшими свойствами ненарушенных болот являются также сохранение ландшафтного разнообразия среди освоенных тер-

риторий, смягчение последствий изменения климата, поддержание устойчивого водного режима на окружающих их территориях. На осушенных же разрабатываемых и выработанных торфяных месторождениях интенсивно протекают процессы минерализации органического вещества торфа, возникает пожароопасная ситуация.

Устойчивое развитие регионов республики должно базироваться на оптимальной и постоянно совершенствующейся схеме территориального планирования, включающей в качестве основного элемента план рационального использования природных ресурсов. Важной государственной задачей является диверсификация топливно-энергетического направления использования торфа на развитие альтернативных направлений – глубокой переработки торфа с получением продукции с высокой добавленной стоимостью.

Обязательными условиями продуктивного и рационального использования сырьевых ресурсов торфяного фонда являются всесторонний учет и инвентаризация всех месторождений торфа. При этом важна актуальная информация, учитывающая происходившие за прошлые годы изменения по каждому объекту, изменение площадей, запасов, характеристик, состояний. Особенно это касается выработанных месторождений и месторождений, интенсивно использовавшихся и используемых в сельском хозяйстве.

Начало инвентаризации торфянников Беларуси было положено принятым в 1922 г. Декретом «О торфяных болотах», а системное изучение торфяного фонда республики началось в 1928 г. До настоящего времени в архиве сохранилась часть материалов разведок тех лет, но особенно активно поисковая разведка торфяных месторождений проводилась в 1935–1938 и 1948–1953 гг.

Первый справочник «Торфяной фонд Белорусской ССР», изданный в 1953 г., включал 5945 торфяных месторождений с общей площадью промышленной залежи 1467,55 тыс. га.

В 1979 г. справочник был переиздан как «Кадастровый справочник торфяного фонда БССР», включающий 7055 торфяных месторождений с площадью в нулевых границах 2543,78 тыс. га. Запасы торфа были изучены детально на 35 %, предварительно – на 18 % и поисково – на 47 % территории торфяных месторождений.

С появлением космических технологий начали проводиться работы по оценке торфяного фонда с использованием спутниковых снимков.

В 2002 г. Институтом зоологии НАН Беларуси в рамках выполнения задания «Разработать инструктивно-методические документы по инвентаризации водно-болотных угодий Беларуси» была выполнена инвентаризация естественных болот Беларуси.

В 2010 г. в рамках международного проекта «Восстановление торфянников Беларуси и применение концепции их устойчивого управления – снижение воздействия на климат с эффектом для экономики и биоразнообразия» (Беларусь-1) была проведена работа по инвентаризации всех торфяных болот республики на основании данных космической съемки с современных спутниковых систем. В итоге выявлены, определены и оцифрованы границы естественных болот на всей территории республики и создана база данных в ГИС-формате «Болота Беларусь».

В 2016 г. сотрудниками Института природопользования НАН Беларуси и НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам на основе анализа спутниковых снимков разработана база данных «Торфяники Беларуси», в которой торфяные месторождения были распределены по четырем направлениям использования (фондам) до 2030 г.: охраняемый, особо ценных видов торфа, разрабатываемый, земельный. В базе детально представлены болота, подлежащие особой и(или) специальной охране, торфяные месторождения особо ценных видов торфа, разрабатываемого фонда [2, 3]; в земельный фонд отнесены месторождения с осушенными землями с торфяными почвами сельскохозяйственного и лесохозяйственного использования. Однако распределение не характеризовало фактическое состояние торфяных месторождений земельного фонда, их использование. Определение границ торфяных месторождений проводилось на основе данных выполненных ранее геологоразведочных работ. Однако в результате мелиоративных работ, проведенных в 1950–1990 гг., и последующего интенсивного использования осушенных земель в сельском хозяйстве состояние торфяных месторождений существенно изменилось – изменились площади и запасы торфа. Как показывает предварительный анализ, во многих случаях на таких месторождениях уже отсутствуют запасы торфа и их можно с полным основанием перевести в категорию деградированных торфяных почв.

Для решения вопроса о современном состоянии торфяного фонда Республики Беларусь в рамках ГНТП «Природопользование и экологические риски» на 2016–2020 годы подпрограммы 01 «Рациональное природопользование и инновационные технологии глубокой переработки природных ресурсов» проводится работа по выполнению задания «Выполнить анализ современного состояния торфяных месторождений на основе данных дистанционного зондирования Земли и разработать атлас торфяных месторождений Республики Беларусь».

В настоящей статье представлены результаты выполненных работ по апробации методики дешифрирования спутниковых снимков сверхвысокого разрешения торфяных месторождений Брестской области.

Методика оценки состояния торфяных месторождений. Для анализа состояния площадей торфяных месторождений в зависимости от фактического состояния и вида использования в хозяйственной и иной деятельности нами были выделены следующие категории участков торфяных месторождений, которые можно определить путем дешифрирования спутниковых снимков:

- естественное торфяное болото (участок болота);
- нарушенные болота с кустарниковой растительностью;
- повторно заболоченный участок, выбывший из промышленной эксплуатации;
- разрабатываемый участок;
- осушенные земли с торфяными почвами сельскохозяйственного использования;
- осушенные земли с торфяными почвами лесохозяйственного использования;
- водные объекты в границах торфяного месторождения;
- заселенные участки (населенные пункты, садовые товарищества и т. п.).

Направления использования торфяных месторождений в хозяйственной и иной деятельности определяются в зависимости от их принадлежности к определенным категориям торфянников.

Естественные болота должны сохраняться в естественном ненарушенном состоянии. Допускается ограниченное использование естественных болот для осуществления отдельных видов хозяйственной и иной деятельности, не оказывающих вредное воздействие на болотные экологические системы (ведение лесного хозяйства, экологический туризм, сбор, заготовка дикорастущих растений и (или) их частей, сенокошение, ведение охотничьего хозяйства и охота, ведение рыболовного хозяйства и рыболовство, и др.), при условии соблюдения режима охраны и использования естественных болот.

Нарушенные болота (покрытые древесно-кустарниковой растительностью) используются для ведения лесного хозяйства, сбора, заготовки дикорастущих растений и (или) их частей, сенокошения, ведения охотничьего хозяйства и охоты, ведения рыболовного хозяйства и рыболовства, осуществления других видов хозяйственной и иной деятельности.

Повторно заболоченные участки, выбывшие из промышленной эксплуатации, используются для осуществления отдельных видов хозяйственной и иной деятельности, не противоречащих целям экологической реабилитации торфянников (планационное выращивание растений, экологический туризм, ведение охотничьего хозяйства и охота, ведение рыболовного хозяйства и рыболовство и др.).

Разрабатываемые участки являются участками, используемыми для добычи торфа для нужд топливно-энергетического сектора экономики и для производства грунтов различного назначения, удобрений, гуминовых препаратов, особо ценных видов торфа (верхового малоразложившегося торфа для гидролизного производства, битуминозного торфа для битумного производства, торфа, пригодного для использования в качестве сырья для лечебных целей).

Осушенные земли с торфяными почвами используются для ведения сельского и лесного хозяйства.

Водные объекты – участки, на которых находятся естественные озера, водоемы и водохранилища (учитываемые в площадях торфяных месторождений).

Заселенные участки (выработанные и невыработанные) – участки, переданные под застройку в населенных пунктах, под садовые товарищества, производственную застройку.

Предложенные категории участков состояния торфяных месторождений качественно отличаются способом использования ресурсов торфяного месторождения, позволяют количественно оценить изменение геологических запасов торфа, общее состояние торфяного фонда Республики Беларусь.

Для выделения участков разных категорий, характеризующих их современное состояние, использовался визуальный метод дешифрирования спутниковых снимков. Активно развивающиеся методы анализа земной поверхности на основе мультиспектральной космической съемки представляют широкие возможности при анализе состояния торфяных месторождений (растительность, обводненность, степень деградации торфяных почв и т. п.). Однако они требуют предварительного оконтуривания анализируемых объектов, поскольку спектральные характеристики торфянников четко не выделяются на фоне окружающих угодий. Такое оконтуривание возможно с использованием материалов геологических разведок, выполненных на основе полевых изысканий с учетом площадей разведенных объектов. Дальнейший анализ поверхности месторождений, выделение участков отдельных категорий, проводится в пределах установленных контуров.

Важнейшим прямым дешифровочным признаком при визуальном методе анализа спутниковых снимков является структура изображения, характеризующаяся определенным характерным рисунком. В то же время рисунок изображения участков торфяного месторождения складывается из оптических и геометрических характеристик. Оптические характеристики включают яркостные особенности: тон, контраст яркости изображения, геометрические характеристики – размер, форму, плотность, взаим-

ное расположение элементов рисунка. Как правило, для торфяных месторождений характерен монотонный, мелкопятнистый или точечный рисунок изображения.

Таким образом, основными прямыми дешифровочными признаками участков разных категорий являются тон (цвет) и рисунок (структура) изображения. Использование такого основного признака, как тональность рисунка, учитывается при определении минеральных островов среди торфяных месторождений, выделяющихся более светлым тоном, а сами болотные участки – более темным. Лесные суходольные участки имеют темную четкую зернистость. При использовании снимков с общедоступных геосервисов (Google, Yandex и др.) необходимо учитывать различную тональность сформированных цветных изображений этих сервисов.

Дополнительными дешифровочными признаками участков разных категорий в пределах нулевой границы торфяного месторождения являются:

- тональность рисунка в зависимости от степени обводненности различных элементов микроландшафта;

- наличие и параметры осушительной сети;
- наличие древесного яруса и его расположение.

Достоверность и точность установления границ участков напрямую зависит от качества изображения спутниковых снимков и разрешения на местности. Для дешифрирования использовались спутниковые снимки со сверхвысоким разрешением ≤ 1 м/пикс (снимки GOOGLE, сервис SASPlanet, Yandex, материалы аэрофотосъемки), при помощи которых имелась возможность точно выделить участки различных категорий, наличие и параметры осушительной сети. По возможности проводилось сравнение снимков, полученных в весенний, летний и осенний сезоны. Это позволяло более достоверно оценивать вид хозяйственной деятельности на анализируемых территориях.

В таблице приведен фрагмент каталога космоэталонов участков различных категорий использования.

**Характерные виды категорий участков на спутниковых снимках
(на примере снимков GOOGLE)**

**Typical views of the categories of areas of satellite snapshots
(on the example of GOOGLE snapshots)**

Категория	Фрагмент снимка	Дешифровочные признаки
Естественное торфяное болото (верховое, лесное низинное торфяное болото, низинное, пойменное)		<p>Тон от светло и темно-зеленого (древесный хвойный ярус), бурого и желто-бурого цвета (лиственные породы) до красновато-зеленого, иногда с незначительным зелено-бурым оттенком (травяной и моховой ярус). Структура от гладкой (топяной тип) до среднезернистой, неоднородной. Отсутствие осушительной сети. Возможно наличие древесного яруса</p>

Продолжение таблицы
Continuation of table

Категория	Фрагмент снимка	Дешифровочные признаки
Нарушенное болото (покрыто древесно-кустарниковой растительностью)		<p>Тон слагается из сочетания фрагментов темно-зеленого и зеленого цвета (древесно-кустарниковая растительность). Структура крупнозернистая. Наличие примыкающей по периметру осушительной сети или отдельных каналов в границах нулевой залежи</p>
Повторно заболоченный участок, выбывший из промышленной эксплуатации		<p>Тон от зеленого до бурого цвета. Увеличение на отдельных участках насыщенности буро-зеленого и зеленого тона связано с увеличением обводненности поверхности. Изображение имеет характерный мозаичный рисунок, который слагается из сочетания отдельных сильно размытых по краям и различных по форме пятен с открытой водной поверхностью. Структура среднезернистая. Возможно наличие сохранившейся после добычи торфа осушительной сети с параметрами 500 × 40 м</p>
Участок торфяного месторождения, разрабатываемый для добычи торфа		<p>Тон от коричневого до темно-коричневого цвета. Структура однородная, зернистость отсутствует. Наличие осушительной сети с параметрами 500 × 40, 500 × 20 м прямоугольной формы</p>
Осушенные земли с торфяными почвами сельскохозяйственного использования		<p>Тон от светло- и темно-коричневого (пропашные, зерновые культуры) до светло-зеленого (многолетние луга). Цвета. Структура гладкая, с незначительными смазанными зернами. Наличие осушительной сети с разными параметрами произвольной формы</p>

Окончание таблицы
Ending of table

Категория	Фрагмент снимка	Дешифровочные признаки
Осушенные земли с торфяными почвами лесохозяйственного использования		<p>Тон темно-зеленый, иногда с незначительным бурым оттенком, ровный. Структура от средней до крупной зернистости. Наличие древесного яруса. Наличие лесомелиоративных каналов с приблизительными параметрами 500×500 м квадратной формы</p>
Водные объекты в границах торфяного месторождения		<p>Тон темно-фиолетовый до черного. Структура поверхности однородная, однотонная. Четко очерченные границы</p>
Заселенные участки (населенные пункты, садовые товарищества)		<p>Наличие строений</p>

Выделение участков разных категорий (создание их шейп-файлов) выполнялось с использованием ГИС-пакета QGIS 3.8. Для этого изображения космических снимков с сервисов GOOGLE и Yandex в системе координат WGS84 загружались в ГИС-пакет. Дополнительно в ГИС загружались векторные границы нормированных по площади уточненных контуров торфяных месторождений. После чего по результатам анализа снимков создавались векторные слои вышеприведенных категорий внутренними инструментами ГИС в виде полигональных объектов. На рис. 1 показаны выделенные участки разных категорий части месторождения Пешанка по результатам анализа спутникового снимка высокого разрешения (сервис Yandex).

Площади выделенных участков составляют: водоем – 11,5 %, повторно заболоченный участок – 20,5, осушенные земли с торфяными почвами сельскохозяйственного назначения и лесохозяйственного использования 52,2 и 15,8 % соответственно.

После дешифрирования и векторизации границ участков в ГИС-пакете для векторного слоя общих контуров месторождений заполнялась атрибутивная таблица, в которую вводились вся имеющаяся качественная и количественная информация о торфяном месторождении. Атрибутивные таблицы других шейп-файлов содержали кадастровый номер и рассчитанную инструментами ГИС площадь участков.

Результаты анализа состояния торфяного фонда Брестской области. С использованием приведенной выше методики выполнен анализ месторождений Брестской области. Всего было проанализировано 469 месторождений (площадь ≥ 10 га).

Создано 10 шейп-файлов:

- естественные торфяные болота (участки);
- нарушенные болота с кустарниковой растительностью;
- повторно заболоченные участки, выбывшие из промышленной эксплуатации;
- разрабатываемые участки для добычи торфа;
- осушенные земли с торфяными почвами сельскохозяйственного использования;
- осушенные земли с торфяными почвами лесохозяйственного использования;
- водные объекты в границах торфяного месторождения;
- заселенные участки;
- контуры (уточненные) месторождений;
- выработанные участки месторождений.

На рис. 2 приведена карта торфяных месторождений Брестской области с выделением участков различных категорий. Сумма площадей всех выделенных участков составляет более 99 % от площади суммы общих контуров месторождений. Это свидетельствует о том, что при визуальной обработке спутниковых снимков сверхвысокого разрешения можно довольно полно анализировать состояние площадей месторождений (даже без коррекции геометрии средствами ГИС).

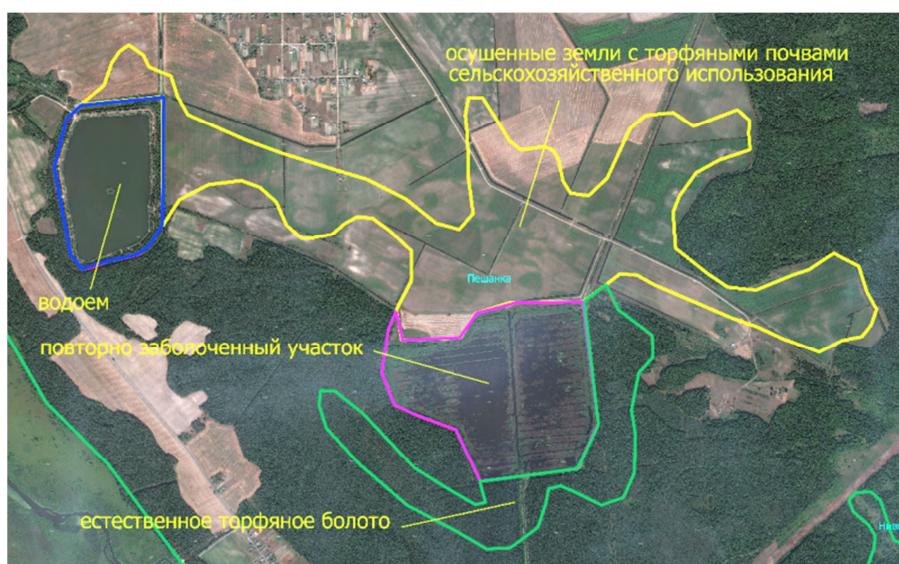


Рис. 1. Выделенные участки различных категорий на примере части месторождения Пешанка (спутниковые снимки сервиса Yandex)

Fig. 1. Highlighted areas of different categories on the example of a part of Peshanka deposit (satellite snapshots of Yandex service)

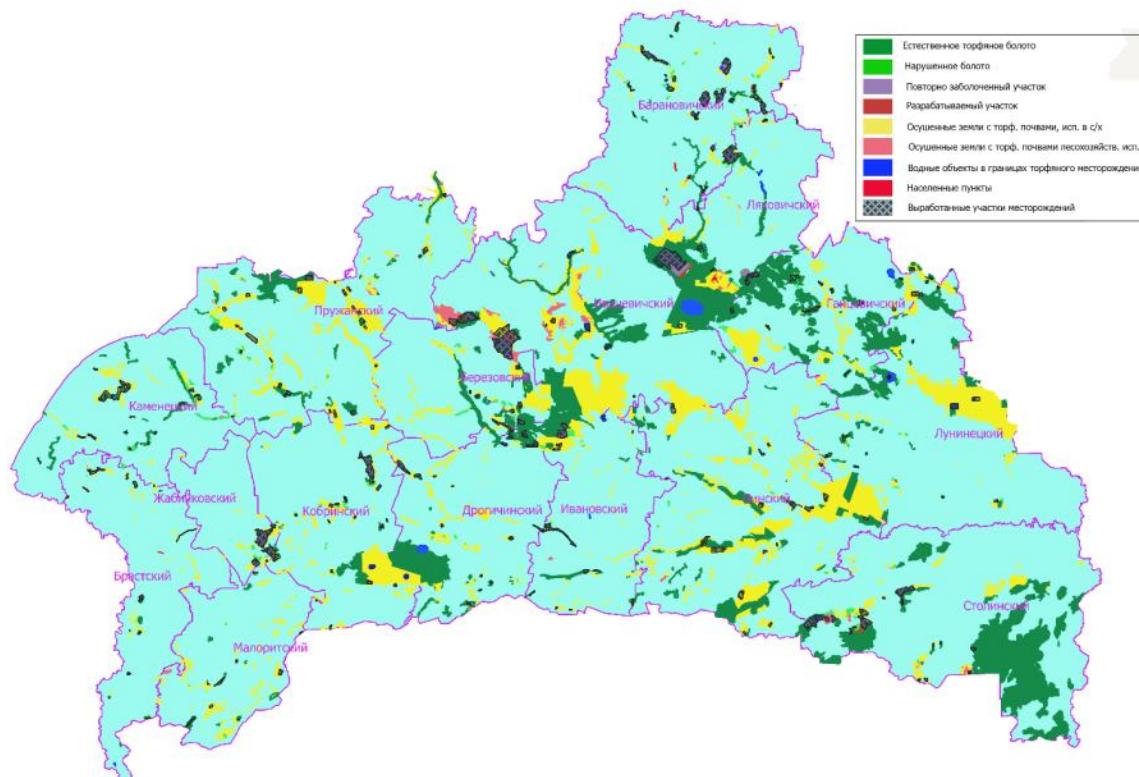


Рис. 2. Карта торфяных месторождений Брестской области с выделенными участками различных направлений использования

Fig. 2. A map of the peat deposits of Brest region with highlighted areas

Предварительный анализ полученных результатов показывает, что основным направлением использования торфяных месторождений Брестской области является сельскохозяйственное – осушенные земли с торфяными почвами (~ 50 %). Второй по величине категорией являются естественные торфяные болота. Более детальный анализ полученного материала позволит оценить состояние торфяного фонда области, оставшиеся запасы торфа.

Выводы. Разработана и апробирована методика оценки состояния торфяных месторождений на основе камерального дешифрирования спутниковых снимков сверхвысокого разрешения. Показана возможность ее применения на примере торфяных месторождений Брестской области, создана карта торфяных месторождений с выделенными участками различных направлений использования.

Методика основана на анализе структуры изображения участков с различным направлением использования и включает следующие этапы:

- разработку перечня категорий участков, по которым проводится анализ состояния торфяных месторождений Беларусь;
- выявление критериев выделения участков разных категорий по космическим снимкам – создание каталога космоэталонов участков;
- визуальный анализ площадей каждого торфяного месторождения и создание шейп-файлов участков разных категорий.
- создание базы данных торфяных месторождений, содержащей пространственную (шнейп-файлы контуров) и атрибутивную информацию о торфяных месторождениях с последующим анализом полученного материала.

Список используемых источников

1. О нормативных правовых актах Республики Беларусь: Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2015 г. № 1111 «О Стратегии сохранения и рационального (устойчивого) использования торфяников» и «О Схеме распределения торфяников по направлениям использования на период до 2030 г.».

2. База данных «Торфяники Беларуси» / НПЦ НАН Беларусь по биоресурсам и Институт природопользования НАН Беларуси [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа: <http://peatlands.by>. – Дата доступа: 12.03.2018.
3. Распределение торфяников Республики Беларусь по направлениям использования / Н. И. Тановицкая, Н. Н. Бамбалов, Ю. Ю. Навоша, О. Н. Ратникова, Е. П. Леонович, Л. С. Лис // Земля Беларуси. – Минск, 2016. – Вып. 1. – С. 28–32.

References

1. *O normativnyih pravovyih aktah Respubliki Belarus: Postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus ot 30 dekabrya 2015 g. no. 1111 «O Strategii sohraneniya i ratsionalnogo (ustoychivogo) ispolzovaniya torfyanikov» i «O Sheme raspredeleniya torfyanikov po napravleniyam ispolzovaniya na period do 2030 g.»* [On normative legal acts of the Republic of Belarus: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of 30 December 2015 no. 1111 "On the Strategy of conservation and rational (sustainable) use of peatlands" and "On the scheme of distribution of peatlands in areas of use for the period up to 2030"]. (in Russian)
2. Baza danniyih «Torfyaniki Belarusi» [Database "Peatlands of Belarus"]. NPTs NAN Belarusi po bioresursam i Institut prirodopolzovaniya NAN Belarusi [NPC of NAS of Belarus on bioresources and Institute of nature management of NAS of Belarus]. 2016. Available at: <http://peatlands.by> (accessed 2018, March, 12). (in Russian)
3. Tanavitskaya N. I., Bambalov N. N., Navosha Yu. Yu., Ratnikova O. N., Leonovich E. P., Lis L. S. *Raspredelenie torfyanikov Respubliki Belarus po napravleniyam ispolzovaniya* [Distribution of peatlands of the Republic of Belarus in the directions of use]. *Zemlya Belarusi = Land of Belarus*. Minsk, 2016. Vol. 1, pp. 28–32. (in Russian)

Информация об авторах

Навоша Юльян Юльянович – канд. физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: navoscha@tut.by

Тановицкая Нина Ивановна – канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: 4tni@mail.ru

Information about the authors

Yulian Yu. Navosha – Ph. D. (Physical and Mathematical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: navoscha@tut.by

Nina I. Tanavitskaya – Ph. D. (Technical), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: 4tni@mail.ru

ГЕОЛОГИЯ. ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ GEOLOGY. MINERALS

УДК 553.98(476.2)

Поступила в редакцию 21.10.2019
Received 21.10.2019

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕНОСНОСТИ ЮЖНОЙ ПРИБОРТОВОЙ ЗОНЫ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

Я. Г. Грибик¹, Н. И. Кондратенко²

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

²*РУП «НПЦ по геологии», Минск, Беларусь*

Аннотация. Приводится оценка перспектив нефтеносности Южной прибортовой зоны Припятского прогиба для прогнозирования промышленных залежей нефти. Проанализированы геолого-геофизические данные, включающие признаки нефти в керне, гидрогеологические показатели, коллекторские свойства пластов, качество нефти, сейсмические данные для выявления приоритетных поисковых участков. Приведена детальная геологическая характеристика по площадям, где выявлены непромышленные притоки нефти: Южно-Валавская, Восточно-Выступовичская, Радомлянская. В пределах Выступовичской площади обосновывается развитие олистостромного палеопроцесса, обусловленного сносом валунно-обломочного материала с Украинского щита. Даны рекомендации по направлению дальнейших поисковых работ в этой зоне.

Ключевые слова: нефть; пластовые воды; терригенные, карбонатные породы; испытание скважины; приток; признаки нефти.

Для цитирования. Грибик Я. Г., Кондратенко Н. И. Перспективы нефтеносности Южной прибортовой зоны Припятского прогиба // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 177–193.

PROSPECTIVES OF THE OIL-BARING OF THE SOUTH INSTRUMENT ZONE OF THE PRIPYAT TROUGH

Ya. G. Gribik¹, N. I. Kondratenko²

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

²*Republican Unitary Enterprise ‘Scientific-Production Center for Geology’, Minsk, Belarus*

Abstract. The assessment of the oil potential prospects of the southern instrument zone of the Pripyat trough for predicting industrial oil deposits is given. Geological and geophysical data are analyzed, including the signs of oil in the core, hydrogeological indicators, the reservoir properties of the reservoirs, oil quality, seismic data to identify priority exploration sites. A detailed geological characteristic is given for areas where non-industrial oil inflows have been identified: Yuzhno-Valavskaya, Vostochno-Vystypovichskaya, Radomlyanskaya. The development of olistostromic paleoprocess, due to the demolition of boulder-clastic material from the Ukrainian shield, is justified within the Vystypovichskaya area. Recommendations on the direction of further prospecting in this area are given.

Key words: oil; produced water; terrigenous, carbonate rocks; well testing; inflow; signs of oil.

For citation. Gribik Ya. G., Kondratenko N. I. Prospectives of the oil-baring of the south instrument zone of the Pripyat trough. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 177–193.

Введение. Южную часть Припятского прогиба по праву следовало бы называть регионом, в котором получен первый приток нефти. Еще за 11 лет до получения первого промышленного притока нефти на Речицкой площади в 1964 г. ранее приток нефти был получен в скважине № 2 Ельская в 1953 г. Из пласта песчаника в верхнесоленосном комплексе с глубины 2431 м получен приток нефти дебитом 15–18 м³/сут на штуцере диаметром 4 мм. Детальный анализ, полученные результаты, а также причины того, что южная часть Припятского прогиба к настоящему времени определяется как **нефтеперспективная**, а не **нефтеносная**, приведено ранее [1].

Настоящий анализ обусловлен необходимостью принятия оперативного решения по выбору направления оценки перспектив нефтеносности южной части Припятского прогиба. От выбора приоритетного участка для постановки поисковых работ будет зависеть и конечный результат.

Следует признать, что одним из авторов статьи и ранее, около 30 лет назад, на примере Восточно-Выступовичской площади, о которой приведена информация ниже, определялись перспективные поисковые участки. Однако в силу сложившихся обстоятельств это направление работ не реализовалось. И есть надежда, что настоящая активизация геологоразведочных работ в южной части Припятского прогиба приведет к положительным результатам. По результатам анализа и опыта работ в Припятском прогибе нам представляется, что приоритетным следует считать район Южного краевого разлома по следующим обстоятельствам. **Первое заключается в том, что все основные месторождения Припятского прогиба приурочены к региональным разломам глубинного заложения, каким и является Южный краевой разлом. Второе обстоятельство базируется на постулате: Ищи нефть там, где она есть.** В районе Южного краевого разлома установлены нефтепроявления на Радомлянской, Восточно-Выступовичской, Южно-Валавской площадях, что и склоняет к выбору этого направления для продолжения поисковых работ.

Методы исследования. Для анализа использован современный комплекс информации, включающий геологические, тектонические, литологические, гидрогеологические, гидрохимические данные, характеризующие наиболее перспективные участки Южной прибрежной зоны Припятского прогиба. В тектоническом отношении анализируемый участок представляет собой Южный краевой сбросово-блочный уступ, примыкающий к Украинскому кристаллическому щиту (УКЩ) и погруженный участок подножья Буйновско-Наровлянской тектонической ступени, примыкающий к Восточно-Выступовичскому региональному разлому. Учитывая значительную разблокированность района по фундаменту и подсолевому комплексу, а также значительную литологическую неоднородность межсолевых комплексов, в геологическом плане район в настоящее время по степени геологической изученности находится на стадии регионального изучения. Это связано с тем, что анализируемый район, приуроченный к Южноприпятскому краевому разлому, и продолжительный геологический период находились на стыке двух разноплановых тектонических структур – УКЩ и Припятского палеорифта. Эти обстоятельства и определяли формирование тектонических, литологических особенностей района. Поверхность подсолевого терригенного комплекса в структурном плане повторяет структурно-тектонические элементы геологического строения по поверхности фундамента и поверхности подсолевых карбонатных отложений (рис. 1, А) и примыкает к Южному краевому разлому [2]. Южная прибрежная зона тянется в субширотном направлении вдоль Южно-Припятского разлома, охватывая зону сбросово-блочного уступа, отделяемого с севера от подножья Буйновско-Наровлянской тектонической ступени Восточно-Выступовичским региональным разломом. Южная прибрежная зона включает последовательно с запада на восток Ново-Хуторскую, Скородинскую, Выступовичскую, Демидовскую, Акуличскую, Восточно-Выступовичскую Радомлянскую и Желонскую площади (рис. 1). В самой крайней западной части к Южной прибрежной зоне примыкает Южно-Валавская площадь. В тектоническом плане Южно-Валавская площадь, в пределах которой пробурена поисковая скважина № 35 находится у подножья Буйновско-Наровлянской тектонической ступени. Однако, учитывая геологические данные, полученные по скважине № 35, Южно-Валавская площадь включена в настоящий анализ.

Геологическая характеристика площадей. Южно-Валавская площадь. По поверхности межсолевых отложений Южно-Валавская площадь представляется в виде структурного носа, примыкающего к Восточно-Выступовичскому разлому и ограниченного изогипсой –3600 м. К наиболее приподнятой южной части площади примыкает Ново-Хуторская площадь (рис. 2).

Прямые признаки нефтеносности в процессе бурения скважины № 35 отмечены в кровле межсолевых отложений (интервал 3750–3831 м) в виде повышенных газопоказаний (содержание углеводородов (УВ) – 0,0156 %, в 4 раза превышает фон). При этом на поверхности бурового раствора наблюдается маслянистая нефтяная пленка. При забое 3840 м газопоказания увеличились в 10 раз, а состав газа близок к попутному газу нефтяных месторождений.

При испытании елецких отложений (интервал 3820–3880 м) – получен приток пластовой воды дебитом 321,6 м³/сут. Из других интервалов: 3757–3814, 3996–3997, 4043–4101 и 4133–4167 м – притока нет.

Наибольшее количество коллекторов содержится в елецком и петровском горизонтах. В нижней части елецкого горизонта залегает мощный (58 м) высокоемкий песчаный коллектор с $K_p = 23\%$. При его испытании был получен приток пластовой воды дебитом 321,6 м³/сут. В нижней части песчаные водонасыщенные (по данным геофизических исследований скважин – ГИС) пласты-коллекторы с $K_p = 14–19\%$ выделены в кузьмичевских и нижней части играевских слоев (интервалы 4176–4183, 4187–4192, 4228–4242 и 4280–4282 м).

Пластовая вода получена в интервале 3818–3880 м. По генетическим коэффициентам $Na/Cl = 0,14$ и $Cl/Br = 48,9$ вода седиментационная. Концентрация йода равна 26,0 мг/л, что выше фона. Воды хлоркальциевого типа.

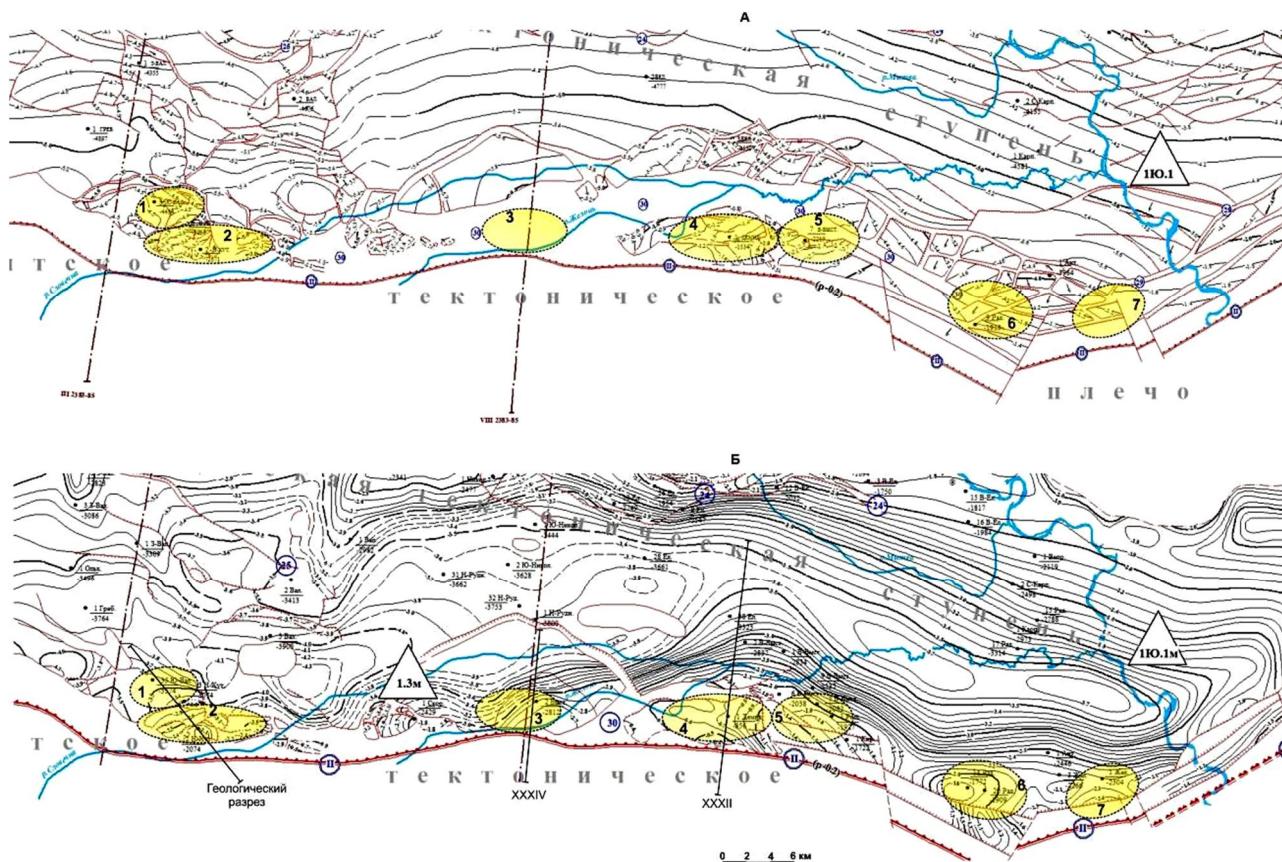


Рис. 1. Припятский прогиб. Южная-Прибортовая зона: А – карта поверхности подсолевых терригенных отложений, Б – карта поверхности межсолевых отложений.

Авторы: В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик, 2011 [3, 4].

Площади (контуры приведены условно): 1 – Южно-Валавская; 2 – Ново-Хуторская; 3 – Выступовичская; 4 – Демидовская; 5 – Восточно-Выступовичская; 6 – Радомлянская; 7 – Желоньская

Fig. 1. The Pripyat Trough. The south instrument zone: A – a map of the surface of subsalt terrigenous deposits, B – a map of the surface of intersalt deposits.

Authors: V. N. Beskopyl'nyj, R. E. Ajzberg, Ya. G. Gribik, 2011 [3, 4].

Areas (contours are given conditionally): 1 – Yuzhno-Valavskaya; 2 – Novo-Hutorskaya; 3 – Vystupovichskaya; 4 – Demidovskaya; 5 – Vostochno-Vystupovichskaya; 6 – Radomlyanskaya; 7 – Zhelon'skaya

В скважине № 35 в интервалах 4505–4525 и 4504–4536 м, приуроченных к нижней части терригенно-карбонатно-сульфатных аналогов ливенской соленосной толщи, в процессе бурения при применении испытателей пластов (ИП) получены притоки нефти с пластовой водой и фильтратом бурого раствора дебитами 0,113 и 0,36 м³/ч соответственно; при испытании в колонне этого интервала получен незначительный приток безводной нефти с углеводородным газом дебитом 0,912 м³/сут, т. е. нефтенасыщенные пласти обладают низкими коллекторскими свойствами. Нефть характеризуется как легкая, подвижная, с удельным весом 0,889 г/см³, с небольшим содержанием смол и асфальтенов, бессернистая, с содержанием парафина 10,2 % (см. таблицу). По данным ГИС коллектором является интервал 4513–4530 м, представленный чередованием маломощных (до 1–2 м) пластов известняка, аргиллита, песчаника. Коллекторские свойства этой пачки низкие $K_n = 5–6 \%$, нефтенасыщенными являются отдельные до 1 м пропластки песчаников, общая толщина которых составляет 4–5 м. Выше этого коллектора залегает глинистая пачка пород (4501–4513 м) без признаков проницаемости, которая может служить покрышкой для залежи УВ. Еще выше, в интервале залегает пачка хорошо проницаемых песчаников с пористостью 8–11 %, из которых получен приток пластовой воды дебитом 369,6 м³/сут.

В средней части ливенских отложений выделено еще несколько маломощных слабопроницаемых песчаных пластов-коллекторов без признаков нефтенасыщения (интервалы 4436–4442, 4467–4469, 4473–4476 м).

В настоящее время однозначная информация о геологическом строении Южно-Валавской площади по подсолевым и межсолевым отложениям отсутствует.

Ново-Хуторская площадь. По поверхности межсолевых отложений структура представляется в виде полусвода, примыкающего к южному борту Припятского прогиба. По поверхности подсолевых отложений и фундамента площадь разбита на несколько отдельных блоков, представляющих самостоятельный поисковый интерес (см. рис. 1, 2).

Межсолевые отложения представлены аргиллитами, алевролитами, песчаниками в нижней части разреза (домановичский и задонский горизонты), доломитами и известняками в верхней части разреза (елецкий и петриковский горизонты). В скважине № 3 Ново-Хуторской в интервале 3775,2–3775,75 м (кузьмичевские слои) отмечен песчаник темно-серый, кварцево-полевошпатовый, тонко-мелкозернистый, на слабом доломитовом цементе, трещиноватый водонасыщенный, толщина слоя 0,55 м.

В скважине № 3 Ново-Хуторской при испытании ИП из отложений задонского горизонта (тонежские слои) из интервала 3738–3763 м получен приток пластовой воды с примесью фильтрата бурового раствора дебитом 4,4 м³/сут. Градиент пластового давления равен 1,163.

Опробован задонский горизонт (тремлянские слои) в скважине № 3 Ново-Хуторской. Из интервала 3635–3662 м получен приток пластовой воды дебитом 28,8 м³/сут. Пластовое давление, замеренное на глубине 3645 м равно 40,7 мПа, градиент давления – 1,117.

Пластовая вода представлена крепкими рассолами хлоридно-кальциево-натриевого состава с минерализацией 368,6 г/л. В химическом составе рассолов отмечается значительное содержание кальция (29,22 экв%) и магния (6,61 экв%), а также невысокое содержание сульфатов (251,1 мг/л). Из микрокомпонентов высокое содержание брома – 3876,1 мг/л, йода – 11,7, аммония – 202,1 мг/л.

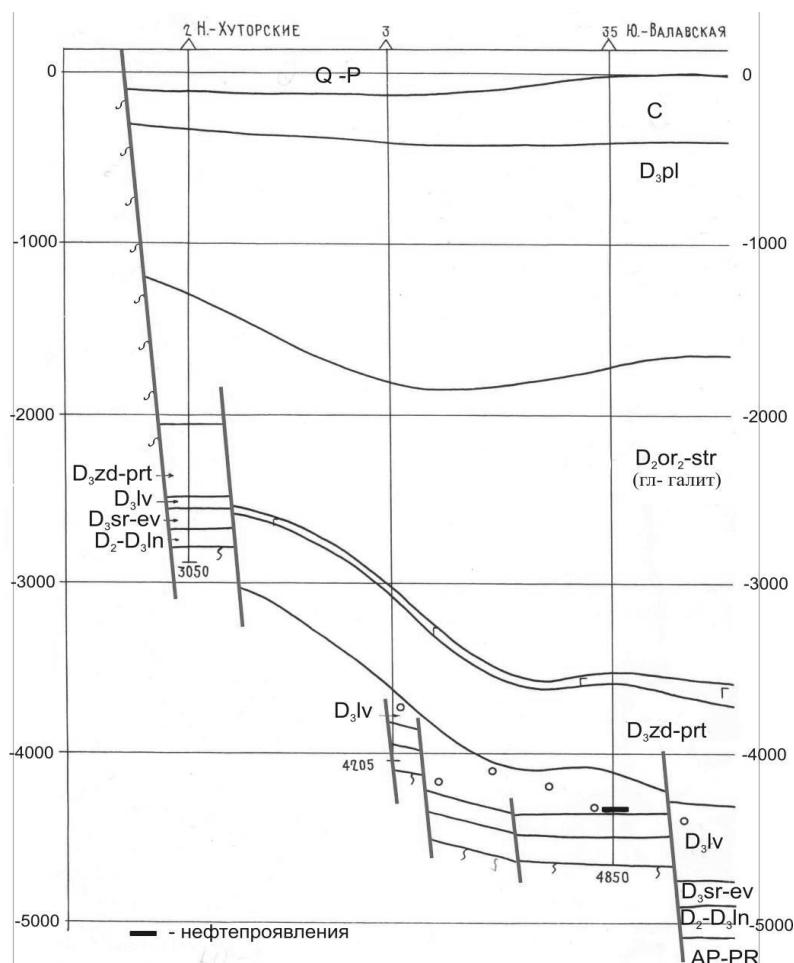


Рис. 2. Южно-Валавская и Ново-Хуторская площади.
Геологический разрез по линии скважин № 35-3-2. Составление Т. А. Старчик

Fig. 2. Yuzhno-Valavskaya and Novo-Hutorskaya areas.
Geological incision on the line of bores no. 35-3-2. Compilation of T. A. Starchik

В скважине № 2 Ново-Хуторской при испытании ИП из интервала 2650–2678 м получен приток пластовой воды дебитом 36 м³/сут. Пластовое давление, замеренное на глубине 2652 м равно 26,7 мПа. Пластовая вода, полученная из этого интервала хлоридно-кальциево-натриевого состава с минерализацией 341,0 г/л. В катионном составе вод отмечается довольно высокое содержание кальция (26,94 экв%), в анионном – при преобладающем содержании хлора, концентрация сульфатов составляет 111,1 мг/л. В микрокомпонентном составе рассолов высокое содержание йода 14,5 мг/л и брома 3210,7 мг/л, довольно низкое содержание аммония 14,4 мг/л.

Из отложений задонского горизонта (тремлянские слои) из интервала 2555–2595 м получен приток пластовой воды с примесью фильтрата бурового раствора дебитом 5,11 м³/сут. Градиент пластового давления – 1,045.

При испытании ИП в скважине № 2 Ново-Хуторской из интервала 2518–2544 м (вишанские слои) получен приток пластовой воды. Фильтрационные свойства водовмещающих пород высокие и характеризуются значением водообильности 350,4 м³/сут. Величина пластового давления, замеренного на глубине 2518 м, составляет 26 мПа, градиент пластового давления – 1,038.

Пластовая вода представлена крепкими рассолами хлоридно-кальциево-натриевого состава с минерализацией 346,8 г/л. В химическом составе рассолов отмечается значительное содержание кальция (27,055 экв%) и магния (5,89 экв%), а также невысокое содержание сульфатов (142,0 мг/л).

Наличие пластов-коллекторов в межсолевом комплексе и благоприятные гидрогеологические показатели позволяют считать эту площадь перспективной.

Однако достоверная оценка перспективности этой площади возможна при решении следующих вопросов. Это, во-первых, более менее достоверные построения по перспективным горизонтам для определения наиболее перспективных блоков. Во-вторых, это определение природы карбонатного осадконакопления в задонско-елецкий период на близком участке, примыкающем к обширной области сноса терригенного материала с Украинского щита. По данным Т. А. Байковой [5], в пределах Ново-Хуторской площади в задонско-петриковский период существовала органогенная постройка, представлявшая в настоящее время как ловушка УВ береговых уступов.

Выступовичская площадь. По поверхности межсолевого комплекса структура представляется в виде брахиантклинали, ограниченной изогипсой –2900 м с полусводом, ограниченным с юга Южно-Припятским региональным разломом. В пределах площади пробурены параметрическая скважина № 1 в 1958 г. до глубины 960 м и параметрическая скважина № 2 – в 1979–1982 гг. к средней части межсолевого комплекса до глубины 3432 м.

Для Выступовичской площади характерны следующие особенности геологического строения:

в разрезе, вскрытом скважиной № 2, отсутствует традиционная для Припятского прогиба верхнесоленосная толща, представленная чередованием соленосных и несолевых пластов. В разрезе скважины верхнесоленосная толща, залегающая на глубине 1276–2950 м, представлена ее аналогом – сложенным чередованием пластов песчаников (песка) с обломками овручских кварцитов разного диаметра;

Выступовичская площадь расположена в пределах полиблока, который в мезо-верхнедевонский период находился в стадии смешанного олистостромно-седиментационного накопления. Олистолиты представлены кварцитами, перенесенными с возвышающегося на юге УКЩ в верхнедевонский бассейн седиментации, с хаотическим их накоплением в глинисто-песчаном матриксе по возрасту, соответствующему времени осадконакопления [6];

границы распространения определяются ориентировочно по геофизическим данным с фронтом прослеживания в 10 км на север от УКЩ и до 15 км по широте, ограничиваясь с запада Сущано-Пержанским разломом, а с востока – Демидовским. По материалам сейсморазведки геологический разрез в районе олистострома характеризуется весьма сложной волновой и скоростной картиной, в то же время нижезалегающие отложения подсолевого комплекса (сейсмопрофили XXXI, XXXIV) прослеживаются более уверенно (рис. 3);

бурение скважин № 1 и 2 Выступовичской площади с глубины 90–100 м велось по монотонной гравийно-конгломератовой толще, сложенной грубообломочными кварцитами с подчиненными прослойями гравия и крупнозернистых песчаников. Проходка скважины в таком абразивном разрезе требует применения породоразрушающих долот, армированных твердыми сплавами. Бурение скважины № 2 до глубины 3432 м происходило в период с июня 1979 г. по июль 1982 г., для чего Мозырской нефтеразведочной экспедиции глубокого бурения израсходовало 374 долота. Средняя проходка на долото составляет около 9 м, что примерно в 4–5 раз ниже, чем в условиях нормально осадочного разреза. Следовательно, для проводки скважины в условиях такого разреза потребуются более высокие технологические и экономические ресурсы.

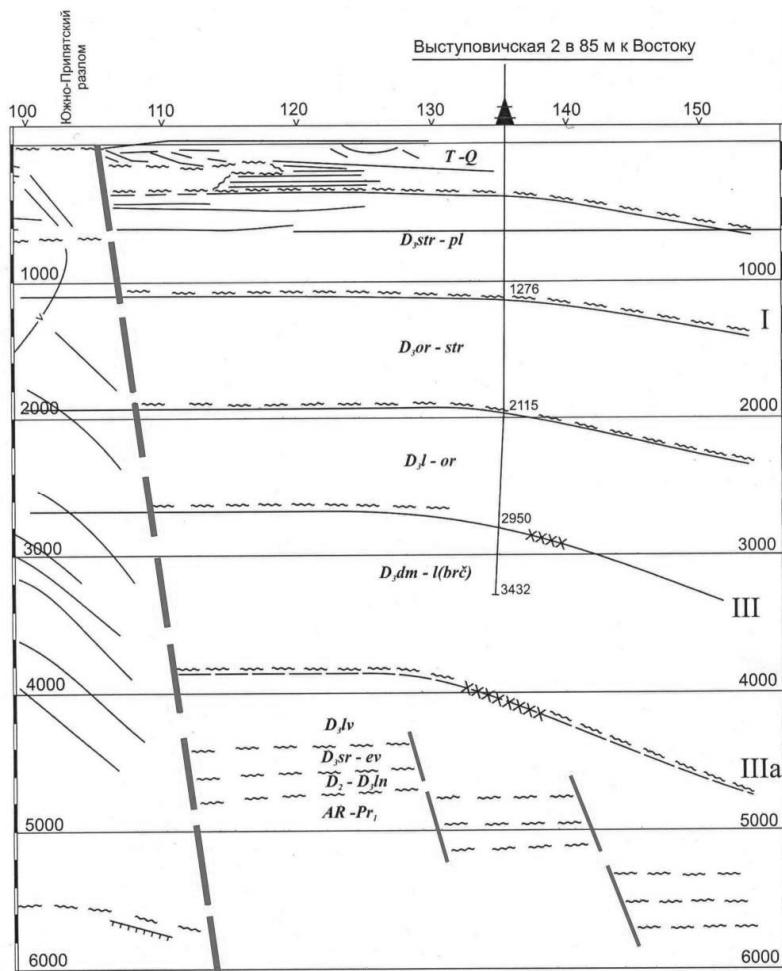


Рис. 3. Выступовичская площадь. Сейсмогеологический разрез по профилю XXXIV 2588-89.
Составление Г. П. Густовой, 1991

Fig. 3. Vystupovichskaya area. Seismological incision on XXXIV 2588-89 profile.
Compilation of G. P. Gystova, 1991

В скважине № 2 при испытании ИП в открытом стволе и в эксплуатационной колонне получены из елецких и петриковских отложений притоки пластовой воды.

Литологический разрез елецких отложений представлен песчаником темно-серым, среднекрупнозернистым, крепким, кварцево-полевошпатовым, с включениями кварцитов ($0,1 \times 2,0$ мм), слабокарбонатным. Литологический разрез петриковских отложений представлен кварцитом розовато-серым, очень крепким, местами темно-серым, с включением окатанного обломка размером до 3 см кварцевого песчаника и налетов сульфидной вкрапленности по микротрецинам.

Анализ исследования елецких отложений скважины № 2 Выступовичской интервалы (3354–3380, 3240–3259, 3185–3222, 3146–3165, 3077–3095 м) позволяет установить ряд гидрогеологических особенностей водовмещающих пород. Высокая водообильность 48,0–256,8 м³/сут и хорошие фильтрационные свойства пород обусловили гидрогеологическую однородность комплекса. Градиент пластового давления – 1,150–1,147. Величина пластового давления, замеренная на глубине 3087 м, составляет 35,4 мПа, на глубине 3354 м – 37,7 мПа.

Пластовые воды представлены крепкими и весьма крепкими рассолами хлоридно-натриево-кальциевого состава с минерализацией от 229,2 до 358,8 г/л. В макрокомпонентном составе рассолов отмечается значительное содержание кальция (от 17,78 до 28,65 экв%) и магния (от 5,44 до 7,73 экв%), низкое содержание сульфатов (от 16,5 до 296,3 мг/л). Из микрокомпонентов отмечено высокое содержание аммония – от 129,6 до 230,4 мг/л, брома – от 2485,5 до 4249,1, йода – от 7,2 до 11,9 мг/л.

Литологический разрез петриковских отложений представлен кварцитом розовато-серым, очень крепким, местами темно-серым, с включением окатанного обломка размером до 3 см кварцевого песчаника и налетов сульфидной вкрапленности по микротрецинам.

При испытании ИП в интервале 2973–3004 м получен приток пластовой воды дебитом 192 м³/сут. Градиент пластового давления – 1,089. Величина пластового давления, замеренная на глубине 2986 м, составляет 32,5 мПа.

Аномальные концентрации радия в пластовых водах в интервале 2090–2116 м ($4,21 \cdot 10^{-9}$ г/дм³), 3077–3095 м ($8,4 \cdot 10^{-10}$ г/дм³), 3240–3259 м ($9,69 \cdot 10^{-10}$ г/дм³), 3354–3380 м ($7,46 \cdot 10^{-10}$ г/дм³) характерно для пластовых вод контактирующих с нефтяными залежами.

Наибольший интерес с точки зрения локального прогноза нефтеносности по гидрогеологическим критериям представляет разрез ниже 3004 м (седиментогенный генезис рассола, хорошая гидрогеологическая закрытость разреза, недонасыщенность вод сульфатами и вышефоновые содержания радия, аммония), а невысокая буровая изученность дает основание рассматривать данную площадь как возможно нефтеперспективную.

Демидовская площадь. По поверхности межсолевого комплекса структура представляется в виде структурного залива с моноклинальным подъемом в западном направлении. По поверхности подсолевого комплекса и фундамента структура раздроблена серией клавишеобразных разломов, протянувшихся параллельно Южному краевому разлому (рис. 4).

В пределах площади пробурена скважина № 1 до глубины 1862 м со вскрытием всего разреза и пород кристаллического фундамента.

Задонские отложения представлены переслаиванием песчаников кварцевых, светло-серых, крупнозернистых, на глинистом цементе с редкими прослойками глины темно-зеленой мощностью 2–5 мм, слоистость горизонтальная с глинами темно-зелеными, плотными, аргиллитоподобными с волнисто-полосчатой текстурой под углом 5–15° за счет переслаивания глин различных оттенков и в верхней части разреза известняками серыми доломитизированными, плотными, крепкими, кавернозными, каверны 0,2–0,5 см до 1,5–2,5 см, в основном полые, частично выполненные глинисто-карбонатным и алевролитовым веществом.

Елецкие отложения представлены известняками серыми, доломитизированными, участками, переходящими в доломит, плотными, слабо кавернозными. Каверны размером 1–2 мм, реже – 5–10 мм, полые и частично заполненные глинисто-карбонатным веществом.

В скважине № 1 Демидовской при испытании ИП в открытом стволе из задонских отложений получены притоки пластовой воды из интервала 1256–1282 м.

Фильтрационные свойства водовмещающих пород высокие и характеризуются значением водообильности 139,2 м³/сут. Величина пластового давления, замеренного на глубине 1270 м, составляет 13,5 мПа, градиент пластового давления – 1,063.

При испытании ИП в открытом стволе из елецких отложений получены притоки пластовой воды из интервала 1104–1123 м дебитом 398,4 м³/сут.

Нефтепроявлений в керне не выявлено.

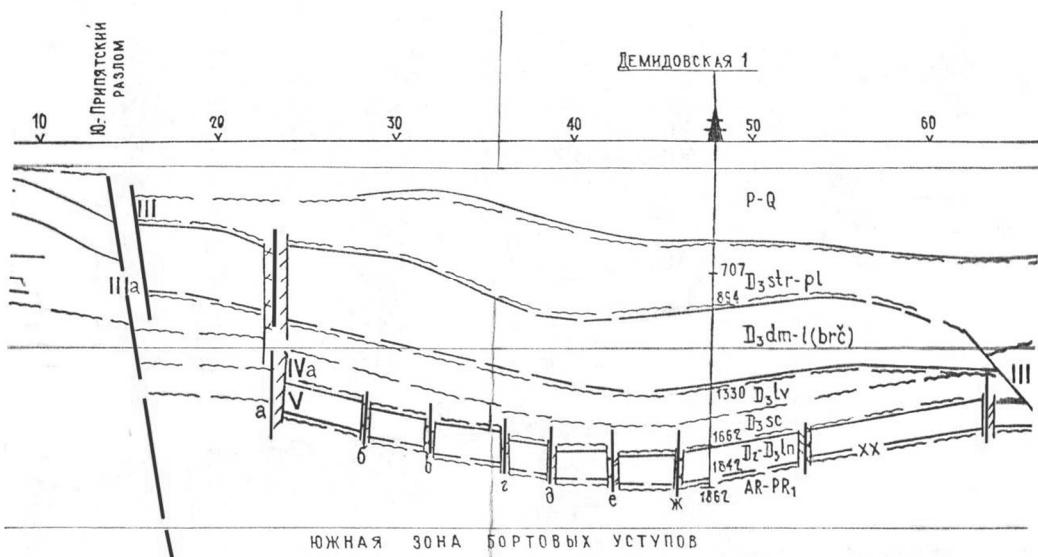


Рис. 4. Демидовская площадь. Сейсмогеологический разрез по профилю XXXII 2588-89.
Составление Г. П. Густовой, 1991

Fig. 4. Demidovskaya area. Seismological incision on XXXIV 2588-89 profile.
Compilation of G. P. Gustova, 1991

В межсолевых отложениях коллекторы выявлены как в карбонатных отложениях в верхней части (интервалы 1106–1114 и 1150–1168 м), $K_n = 6\text{--}9 \%$, так и в песчаных породах нижней части (интервал 1282–1286 м), $K_n = 18 \%$.

Породы семилукского горизонта представлены доломитами серыми тонкими скрытокристаллическими, очень крепкими, массивными с редкими полыми кавернами до 1,5 см, неясно- пятнистой текстуры.

Породы воронежского горизонта (стреличевские слои) представлены известняками серыми, пелитоморфными, средней крепости, в нижней части скрытокристаллическими, очень крепкими, псевдобрекчиевидной текстуры, с остатками фауны.

В процессе бурения скважины № 1 Демидовской площади испытан интервал 1580–1628 м, охватывающий семилукский, речицкий и воронежский горизонты. Получен приток пластовой воды. Фильтрационные свойства водовмещающих пород высокие и характеризуются значением водообильности $288 \text{ м}^3/\text{сут}$. Величина пластового давления, замеренного на глубине 1616 м, составляет $18,5 \text{ мПа}$, градиент пластового давления – $1,146$.

Пластовые воды относятся к крепким рассолам с минерализацией $248,7 \text{ г/л}$, характеризуются хлоридно-натриевым составом с высоким содержанием сульфатов $2197,9 \text{ мг/л}$, низким содержанием аммония $21,7 \text{ мг/л}$ и брома $191,8 \text{ мг/л}$. Исследуемые воды по своему генезису относятся к инфильтрительному типу вод.

В западном направлении по мере уменьшения глубины залегания терригенных отложений, в зонах внедрения древнеинфилтрогенных вод, минерализация рассолов закономерно снижается. Так, в скважине № 1 Демидовской площади из старооскольских отложений интервал 1754–1767 м получен приток пластовой воды дебитом $12 \text{ м}^3/\text{сут}$. Величина пластового давления, замеренного на глубине 1756 м, составляет $20,5 \text{ мПа}$, градиент давления – $1,169$. По химическому составу пластовые воды относятся к крепким рассолам хлоридно-натриевого состава с минерализацией $229,3 \text{ г/л}$. Рассолы характеризуются высоким содержанием сульфатов ($1541,4 \text{ мг/л}$) и низкой концентрацией брома ($384,0 \text{ мг/л}$), йод отсутствует. Исследуемые рассолы по своему генезису относятся к смешанному типу рассолов, имеют невысокую степень метаморфизации и приурочены к гидрогеологически полураскрытым структурам.

С учетом вышеприведенной информации и в силу того, что в пределах Демидовского блока приурочена одиночная скважина, дать однозначную оценку перспективам нефтеноносности площади не представляется возможным. Вместе с тем представляется перспективным направление по изучению отложений подсолевого комплекса к северу от скважины № 1 в гребневой части Демидовского блока, примыкающего к Выступовичскому разлому (рис. 4).

Восточно-Выступовичская и Акуличская площади. Восточно-Выступовичская площадь по поверхности межсолевого комплекса представляется в виде структурного носа, примыкающего к крупноамплитудному Выступовичскому региональному разлому. Структура по поверхности межсолевых отложений подготовлена сейсморазведкой в 1976 г. и введена в этом году в поисковое бурение. В пределах площади в период с 1976 по 1985 г. пробурены скважины № 3–9, 11–13 (рис. 5).

В 1976 г. в скважине № 3 при опробовании ИП верхней части межсолевых отложений (боричевские песчаники) в интервале 2113–2128 м был получен приток нефти дебитом $9,6 \text{ м}^3/\text{сут}$, удельным весом $0,952 \text{ г/см}^3$. При испытании в колонне нижележащих интервалов 2123–2135 и 2123–2130 м получены притоки нефти (до $3 \text{ м}^3/\text{сут}$) с водой (до $0,9 \text{ м}^3/\text{сут}$). Ниже, с глубины 2142 м, при испытании ИП в колонне были получены притоки пластовой воды дебитом $226\text{--}468 \text{ м}^3/\text{сут}$. Вскрытую залежь можно считать пластовой сводовой литологически ограниченной на юге. Пласти с признаками возможной остаточной нефтенасыщенности по данным ГИС выделены в боричевских слоях в скважинах № 4 и 5, где она составляет 10 и 15 % соответственно. В этих же скважинах отмечены выпоты коричневой вязкой нефти. Кроме нефтепроявлений, связанных с боричевскими песчаниками, имеются различные по характеру нефтепроявления, приуроченные почти ко всем пачкам межсолевой толщи.

Межсолевые отложения представлены мощной толщей, в основном терригенных отложений, с подчиненными прослойями сульфатно-карбонатных и соляных пород. В верхней части толщи залегает мощный (70–100 м) песчаник с пористостью от 9 до 30 %. По возрасту это боричевские слои лебедянского горизонта, условно включавшиеся ранее в состав межсолевых отложений. Кроме пласта боричевских песчаников в разрезе межсолевых отложений выделено большое количество песчаных пластов с пористостью от 8 до 22 %. Толщина этих песчаных пластов – от 2–3 до 50 м. Наиболее мощными (30–50 м) и регионально выдержаными являются песчаные пласти-коллекторы в нижней части елецкого горизонта (туровские слои) [7].

Такие разрезы межсолевого комплекса Южной части Припятского прогиба характерны для широкого поля подножья Буйновично-Наровлянской тектонической ступени, примыкающих к Восточно-Выступовичскому региональному разлому [7].

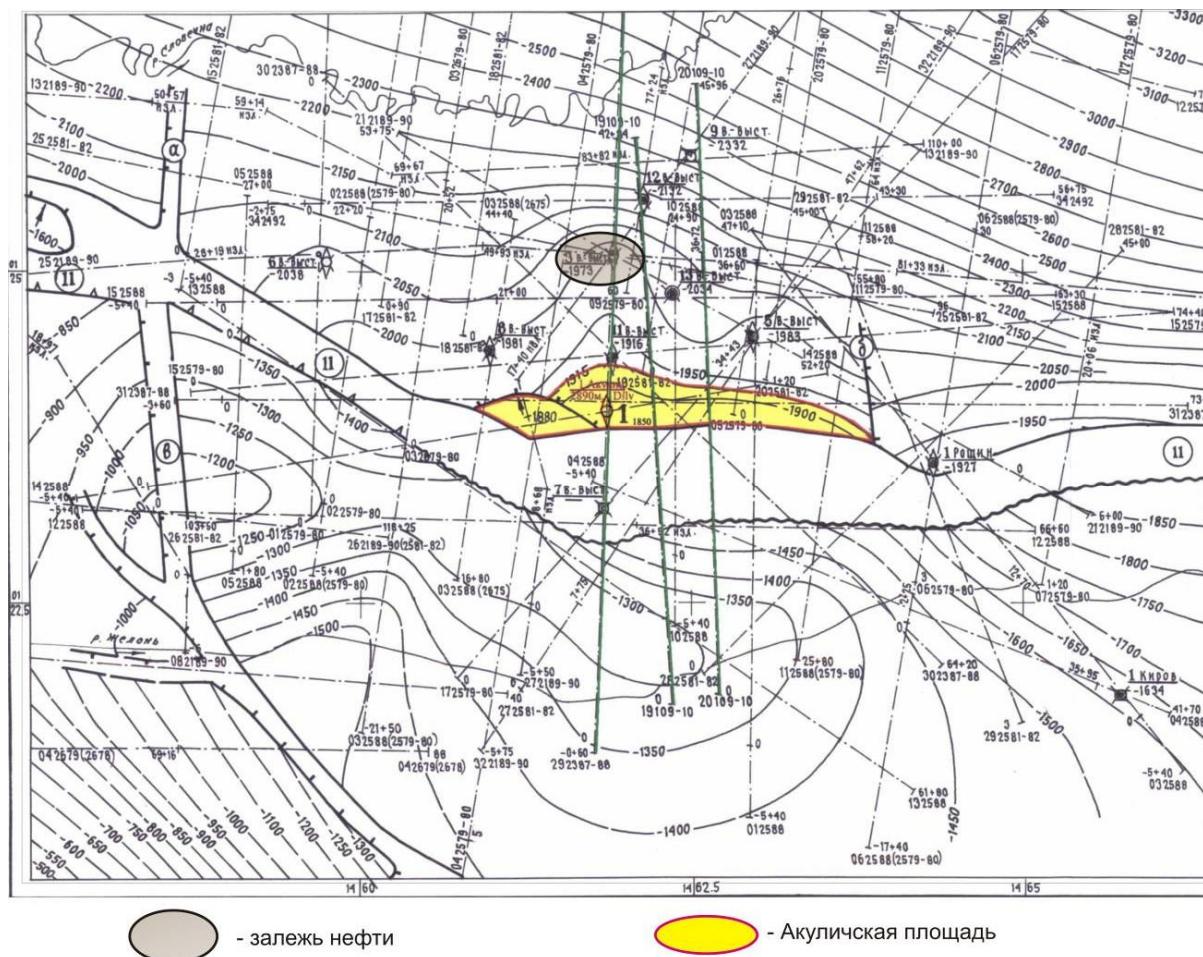


Рис. 5. Акуличская площадь. Структурная карта поверхности межсолевых отложений (отражающий горизонт III). Авторы: А. П. Шадура, С. В. Полещук, 2011

Fig. 5. Akylichskaya area. The structural map of the surface of intersalt deposits (III reflecting horizon). Authors: A. P. Shadura, S. V. Poleshyk, 2011

Притоки пластовых вод различной интенсивности получены по всему вертикальному разрезу межсолевой толщи. Весьма водообильные пласти-коллекторы содержатся в отложениях верхне-задонского и елецкого горизонтов. Дебиты пластовых вод здесь составляют 136,8–720 м³/сут. В боричевских слоях дебиты пластовых вод изменяются от десятков до сотен м³/сут. Пластовые воды боричевских слоев являются подошвенными и законтуренными водами нефтяной залежи. Представлены они крепкими рассолами хлор-кальциевого типа с минерализацией 304–333 г/л. Сульфатность вод значительно превышает фоновые значения (508–1195 мг/л). Рассолы характеризуются невысоким содержанием аммония (112–173 мг/л), брома (323–680 мг/л), йода (4–14 мг/л), радия ($2\text{--}3 \cdot 10^{-10}$ г/дм³). Структура гидрогеологически полураскрыта, что, очевидно, определяло в палеоплане качество нефти, характеризующееся высокой плотностью (0,932 г/см³), смолистостью (36,04 %), сернистостью (1,81 %) (см. таблицу).

Залегающие ниже водоносные пласти елецкого и задонского горизонтов характеризуются более положительными гидрохимическими показателями. Наиболее благоприятные гидрохимические условия в задонском горизонте: коэффициент закрытости – 0,02, содержание сульфатов нижефеновое (150–205 мг/л), аммония 300–340 мг/л. Рассолы содержат промышленную концентрацию йода (21–30 мг/л), брома (2750–3250 мг/л) и т. д. По своему гидрохимическому облику исследуемые воды хорошо сопоставимы с водами нефтяных месторождений Речицко-Вишанской зоны, что свидетельствует о высоких перспективах задонского горизонта в нефтеносном отношении.

Нефтяная залежь, установленная скважиной № 3 по ряду условных критерий (качество нефти, небольшие запасы, большие глубины) РУП «Белгеология» не совсем обоснованно переведена в не-промышленное нефтепроявление. В настоящее время в период нетрадиционных УВ это нефтепроявление **достойна иной оценки**.

Физико-химическая характеристика нефти Восточно-Выступовичской, Радомлянской и Южно-Валавской площадей

Physical and chemical characteristic of the oil of Vostochno-Vystypovichskaya, Radomlyanskaya and Yuzhno-Valavskaya areas

Но- мер сква- жины	Дата отбора	Номер пробы	Интервал, м	Горизонт	Плотность при 20 °C, г/см ³	Вязкость при 20 °C, мм ² /с	Температура плавления парафина, °C	Содержание, мас. %				Темпе- тура нача- ла кипения нефти, °C
								серы	асфаль- тенов	смол	парафина	
<i>Восточно-Выступовичская площадь</i>												
3	24.12.1976 г.	1	2113–2124	lb(brh)	0,932	Нет данных	55	1,81	3,69	36,04	3,15	91
<i>Радомлянская площадь</i>												
14	28.12.1979 г.	1	1903–1923	lb(brh)-ptr	0,924	500	53	1,08	0,73	26,59	2,56	92
	28.12.1979 г.	2	1903–1923	lb(brh)-ptr	0,929	Нет данных	54	1,05	Нет данных	27,40	2,20	90
	31.12.1979 г.	1	1920–1935	ptr	0,934	600	54	1,27	1,12	29,04	2,78	98
	19.04.1980 г.	1	1912–1924	ptr	0,929	Нет данных	53	0,95	1,59	41,67	1,71	72
<i>Южно-Валавская площадь</i>												
35	25.07.1985 г.	1	4504–4536	vr(pch)	0,902	Нет данных	57	0,61	0,83	14,27	11,43	105
	07.02.1986 г.	1	4515–4530	vr(pch)	0,889	Нет данных	62	Нет данных	0,14	11,70	10,18	96

С поисковых позиций весьма представительно в настоящее время оценивается Акуличская площадь, расположенная в южной части Восточно-Выступовичской площади, примыкающей к Восточно-Выступовичскому разлому.

Поисковый интерес представляет Акуличская структура, подготовленная к поисковому бурению сейсморазведкой в 2010 г. Подготовленный объект представляет собой по отражающему горизонту III пластовую тектотонически экранированную с юга ловушку размерами $2,4 \times 0,4$ км по замкнутой изогипсе –1915 м (рис. 5) и площадью менее одного километра квадратного. Оценку вероятных перспектив нефтеносности Акуличской площади следует оценивать по геолого-гидрохимическим показателям. Из геологических показателей необходимо отметить положительный фактор: наличие пластовых коллекторов по аналогии как в пределах Восточно-Выступовичской площади, так и на соседних площадях – Рощинской и Кировской. Экранирование Акуличской ловушки с юга обеспечивается пластами соленосной толщи Южного приподнятого крыла (рис. 6). В пределах площади целесообразно проектировать к бурению поисковую скважину № 1 Акуличскую с проектной глубиной 2870 м до проектного горизонта – нижнесоленосная толща. Скважину следует проектировать со вскрытием всей межсолевой толщи для выяснения перспектив нефтеносности пластов-песчаников в елецком и задонском горизонтах, которые по некоторым скважинам Восточно-Выступовичской площади характеризуются более благоприятными гидрохимическими показателями (скважины № 2, 4). Изучением геологических особенностей в проектируемой скважине в средней части межсолевого разреза позволит косвенно оценить вероятность прогнозируемой залежи в подсолевом терригенном комплексе к северу от скважины № 7 (рис. 6). Район называемой сегодня Акуличской площади, а в период нашего прогноза в 1990 г. определяемого как южная часть Восточно-Выступовичской площади, оценивается по гидрохимическим показателям (аномальная концентрация радия в пластовых водах скважины № 11) весьма высоко [8]. По этому критерию нами прогнозируется на расстоянии не более 100 м от скважины № 11 залежь нефти, представленная на рис. 7, на котором обозначены контуры предполагаемой залежи на базе тех геологических построений, которые существовали на тот период.

В тот период достоверные структурные построения по поверхности межсолевого комплекса отсутствовали, и только после некоторой детализации площади двумя сейсмическими профилями (2010 г.) появилась уверенность в положительном прогнозе нефтеносности Акуличской площади.

В свете вышеприведенного представляется, что Акуличскую площадь следует относить в настоящее время к одному из приоритетных объектов.

Радомлянская площадь. В 1974–1976 гг. трестом «Белоруснефтегеофизика» были проведены поисково-детализационные и детализационные сейсморазведочные работы путем применения метода общей глубинной точки и корреляционного метода преломленных волн, в результате использования которых под поисковое бурение на нефть и газ подготовлена Радомлянская межсолевая структура.

В тектоническом отношении Радомлянская структура расположена в пределах Южной прибортовой зоны поднятий в 14 км к востоку от Восточно-Выступовичской межсолевой структуры.

По поверхности межсолевых отложений (горизонт 2D) Радомлянская структура представляла собой брахиантклиналь, ограниченную с юга Южным бортовым разломом (рис. 8). Размеры структуры по изогипсе –2200 м составляют $5,5 \times 2,5$ км.

В 1979 г. в пределах площади начато поисковое бурение. В 1979 г. в процессе бурения скважины № 14 из кровли межсолевых отложений (интервал 1903–1923 м, абсолютные отметки от –1769,9 до –1789,6 м) получен приток нефти дебитом $8,3 \text{ м}^3/\text{сут}$, $P_{\text{пл.}} = 20,5$ атм. На глубине 1914 м градиент пластовых давлений – 1,07. При испытании ИП интервала 1920–1935 м, (абс. отметки от –1786,6 до –1801,5 м) также получен приток нефти дебитом $11,3 \text{ м}^3/\text{сут}$. $P_{\text{пл.}} = 20,7$ атм на глубине 1935 м, градиент пластовых давлений – 1,07. При испытании в колонне интервала 1912–1924 м (абсолютные отметки от –1778,8 до –1790,6 м) получен приток нефти дебитом $1,1 \text{ м}^3/\text{сут}$. В интервале 1932–1938 м (абсолютные отметки от –1798,5 до –1804,5 м) получен приток пластовой воды дебитом $144 \text{ м}^3/\text{сут}$. Нефть плотная ($0,924$ – $0,934 \text{ г}/\text{см}^3$), смолистая (содержание смол – до 41,67%), вязкая (см. таблицу).

С целью разведки выявленной залежи нефти в пределах площади бурятся скважины № 18–20. Скважины № 18 и 19 межсолевые отложения вскрыли гипсометрически выше (–1767 и –1747 м соответственно) скважины № 14 (–1772 м). Однако при их испытании, как в процессе бурения, так и в эксплуатационных колоннах, получены притоки пластовых вод.

Анализ полученных результатов испытания скважин (№ 14, 18, 19) совместно с интерпретацией материалов ГИС этих скважин свидетельствует о том, что головная часть разреза межсолевых отложений Радомлянской структуры водонасыщена и расположена выше нефтенасыщенной. Следовательно, геологическое строение межсолевых отложений Радомлянской площади имеет более сложное строение.

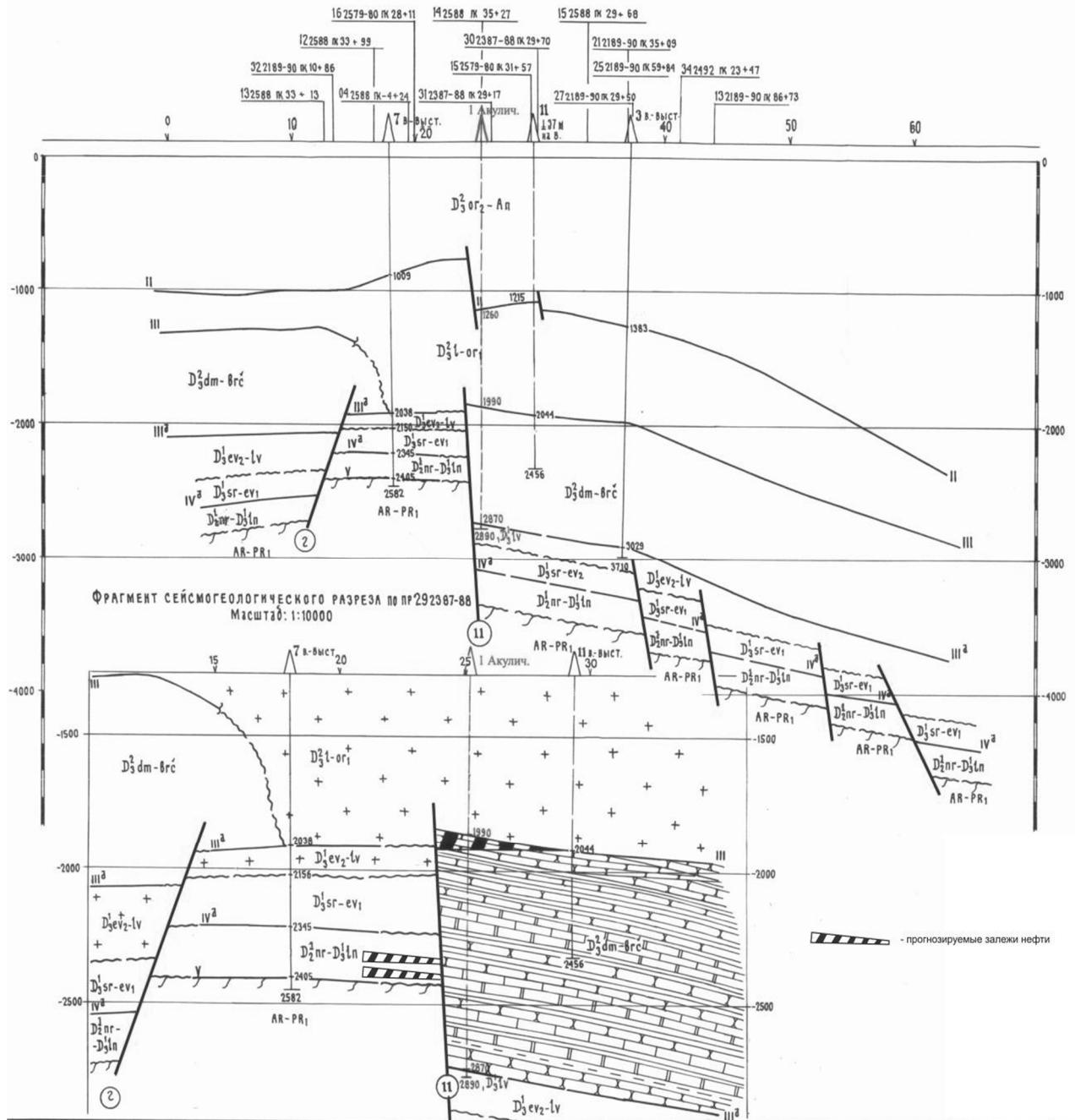


Рис. 6. Акуличская площадь. Сейсмогеологический разрез по профилю 29 2387-88.
Авторы: А. П. Шадура, С. В. Полещук, 2011

Fig. 6. Akulichskaya area. Seismological incision on 29 2387-88 profile.
Authors: A. P. Shadura, S. V. Poleshyuk, 2011

Анализ геолого-геофизических материалов и переинтерпретация сейсмических данных, обосновывающих геологическое строение Радомлянской межсолевой структуры, позволяет оценить перспективы анализируемой территории более высоко.

Для настоящего анализа по Радомлянской и Желоньской площадям использованы данные, полученные ранее [9], поскольку за прошедший период новой информации по изучаемому региону не получено.

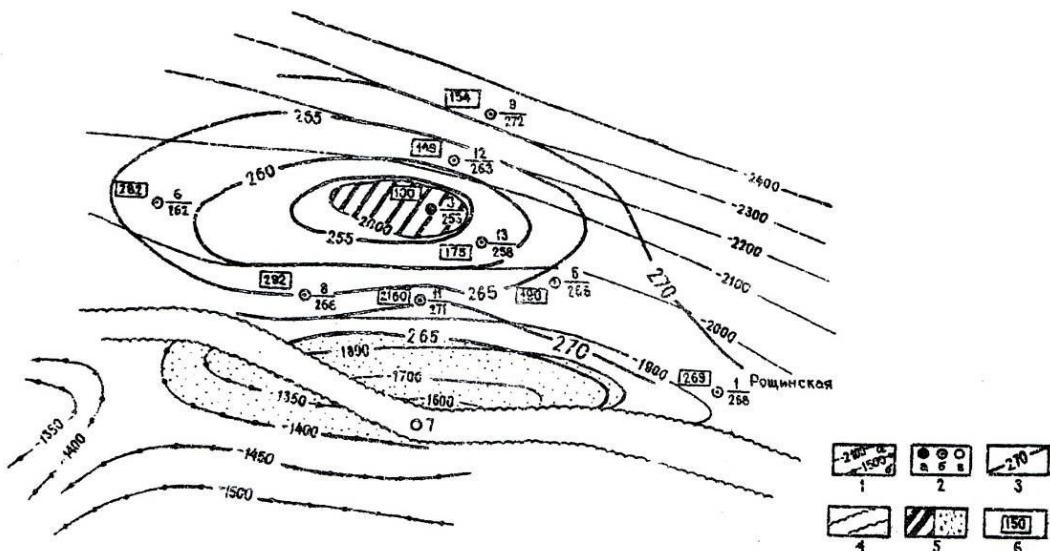


Рис. 7. Восточно-Выступовичская площадь. Гидродинамическая карта верхней части межсолевых отложений [8]: 1 – изогипсы поверхности межсолевых отложений по данным бурения (а), сейсморазведки (б); 2 – скважины: давшая приток нефти (а), воды (б), не давшая притока (в); 3 – изобары приведенных давлений, кгс/см²; 4 – зона неполного эрозионного вреза, отождествляемая с разрывным нарушением по данным сейсморазведки; 5 – нефтяные залежи: установленная (а), прогнозируемая (б); 6 – концентрация радия в пластовых водах, усл. ед.

Fig. 7. Vostochno-Vystypovichskaya area. The hydrodynamical map of the upper part of intersalt deposit [8]: 1 – the iso gypsum of the surface of intersalt deposits by the data of drilling (a), seismic exploration (b); 2 – wells: giving the inflow of oil (f), water (b), not giving an inflow (e); 3 – isobars of reduced pressures, kgf/cm²; 4 – the zone of incomplete erosion insert identified with a discontinuous fault according to seismic data; 5 – oil deposits: established (a), forecasted (b); 6 – radium concentration in formation waters, conv. un.

Радомлянская межсолевая структура представляет собой брахиантклиналь субширотного простирания, осложненную в южной ее части разрывным нарушением амплитудой 50–100 м, проходящим в 1000 м параллельно Южному бортовому разлому (рис. 8). Размеры структуры по изогипсе –2200 м составляют 9,5 × 2,5–3,5 км, амплитуда – более 500 м.

В пределах северного крыла структуры головная ее часть ограничивается замкнутой изогипсой –1800 м, которая соответствует водонефтяному контакту залежи, выявленной скважиной № 14. Размеры залежи – 3,0 × 0,5 км, амплитуда – около 50 .

Следует для уточнения геологического строения Радомлянской межсолевой структуры, распространения залежи нефти и установления ее сводовой (головной) части провести дополнительные детализационные сейсморазведочные работы станциями нового поколения.

По результатам этих работ уточнить геологическое строение площади, проследить распространение залежи, выявленной скважиной № 14, уточнить ее потенциальные ресурсы и обосновать дальнейшее проведение геологоразведочных работ.

Желоньская площадь. В тектоническом отношении Желоньская структура расположена в пределах Южной прибортовой зоны поднятий в 8 км к востоку от Радомлянской межсолевой структуры.

В 1977–1978 гг. в пределах площади пробурено три скважины (№ 1–3-Желоньские) и на северном крыле структуры – одна (№ 1-Антоновская). Залежей нефти не установлено. Отмечены только незначительные прямые признаки нефтеподробности в карбонатных отложениях скважины № 1-Антоновская.

В скважине № 1-Желоньская прямые признаки нефтеподробности были отмечены в интервалах 2378–2385 и 2859–2868 м в виде налетов примазок и включений темно-коричневого битума, а в скважине № 1-Антоновская в интервалах 2563,9–2566,0 и 2586,4–2586,5 м – выпоты и выделения нефти. Наиболее значимые нефтепроявления в виде выпотов темно-коричневой и вязкой нефти иногда с пузырьками газа отмечены в семилукских и саргаевских отложениях в скважине № 1-Антоновская в следующих интервалах – 4036,4–4036,8, 4064,0–4065,5, 4067,0–4072,0 и 4075,4–4078,2 м.

Во всех скважинах из разных уровней межсолевых отложений получены притоки пластовых вод, что свидетельствует о развитии в межсолевых отложениях Желоньской площади хороших пластов-коллекторов.

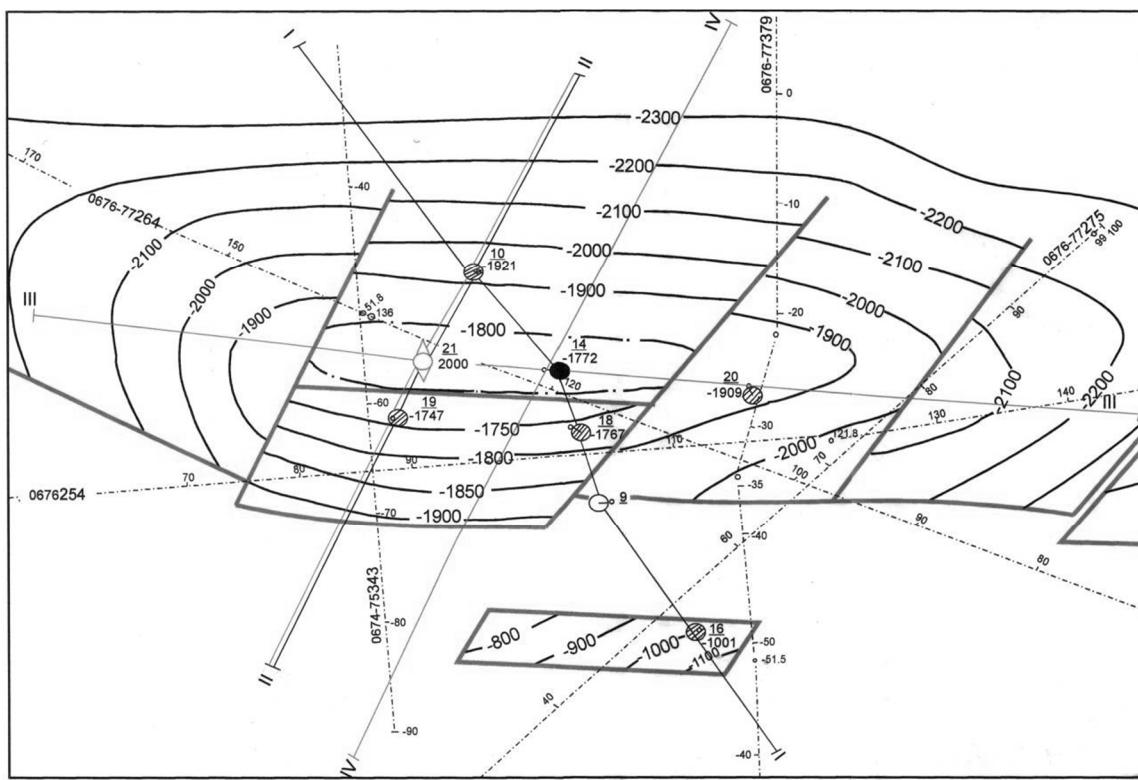


Рис. 8. Радомлянская площадь. Структурная карта поверхности межсолевых отложений.
Составление Л. М. Ланкутя, 2008

Fig. 8. Radomlyanskaya area. The structural map of the surface of intersalt deposits.
Compilation of Lankyt, 2008

По поверхности межсолевых отложений Желоньская площадь находится в пределах восточной периклинальной части крупной Радомлянско-Желоньской антиклинальной структуры. Восточная периклиналь, как и основная часть антиклинали, серией разрывных нарушений разбита на блоки. В пределах Желоньской площади их два – восточный и западный.

Восточный блок изучен бурением скважинами № 1 и 3-Желоньскими. Скважина № 1 пробурена в пределах восточной опущенной части периклинали, а скважина № 3 – в зоне оперяющего разлома. В пределах блока поверхность межсолевых отложений от свода, расположенного в районе пикета 80 С/П₀₆₇₅₋₇₆373 на глубине около –2050 м погружается в восточном, южном и северном направлениях до глубин –2300 м и более, –2170 м и более –2800 м соответственно. Размеры головной части блока по изогипсе – 2170 м составляют от 2,0 × 1,8 км.

В процессе бурения скважины № 1 ИП получены притоки пластовых вод из туровских, вишанских, тремлянских, тонежских и кузьмичевских отложений. Петриковский горизонт не испытывался.

В двух интервалах межсолевых отложений (2378–2385 и 2859–2868 м) отмечены прямые признаки нефтеносности в виде примазок и включений темно-коричневого битума.

Учитывая структурную форму, амплитуду разрывного нарушения, ограничивающего блок с запада, и наличие коллекторов по результатам испытаний, уверенные ловушки в пределах блока прогнозируются в петриковских и туровских отложениях. Нефтеперспективная площадь петриковской ловушки с севера, востока и юга ограничена замкнутым контуром с абсолютной отметкой –2170 м, а с запада – тектоническим нарушением, и составляет 2,5 км² (рис. 9).

Благоприятные структурно-тектонические факторы, наличие ловушек нефти и аналогия с петриковской залежью нефти Радомлянской площади предполагают наличие в пределах восточного блока Желоньской площади залежи нефти в петриковских отложениях.

Для поиска залежей нефти в пределах восточного блока Желоньской межсолевой структуры планировалось в наиболее приподнятой части свода структуры заложить поисковую скважину № 4, расположив ее в 650 м к юго-востоку от скважины № 3-Желоньская. Проектная глубина – 2400 м. Проектный горизонт – елецкий (см. рис. 9).

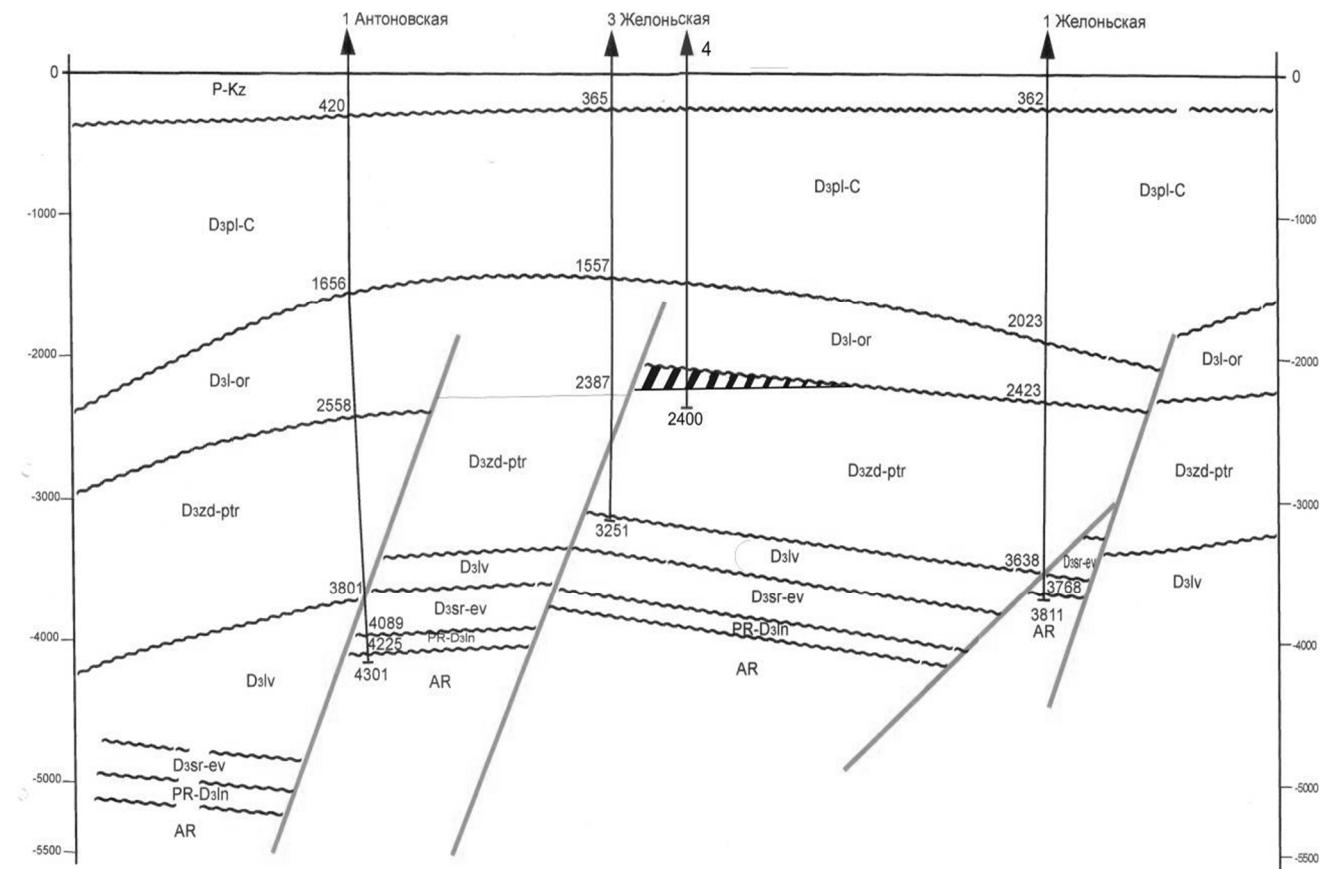


Рис. 9. Желоньская площадь. Геолого-геофизический разрез по линии скважин № 1-Антоновская, № 3-Желоньская, № 1-Желоньская. Составление Л. М. Ланкутя, 2008

Fig. 9. Zhelonskaya area. Geological and geophysical incision on the bores line no. 1 Antonovskaya, no. 3 Zhelonskaya, no. 1 Zhelonskaya. Compilation of L. M. Lankut, 2008

Заключение. По результатам анализа геолого-геофизических данных по Южной прибрежной зоне Припятского прогиба можно сделать следующие выводы.

Геологическое строение Южной прибрежной зоны весьма сложное в связи с расположением в зоне регионального Южного краевого разлома, находящегося в районе двух крупных геологических структур УКЩ и Припятского палеорифта, испытывавших в процессе геологического развития разнонаправленные динамические процессы.

В районе Южной прибрежной зоны непромышленные проявления нефти (на момент выполнения геологоразведочных работ) выявлены в подсолевых отложениях (Южно-Валавская площадь), межсолевых (Радомлянская площадь) и верхнесоленосном комплексе в боричевском горизонте (Восточно-Выступовичская площадь). В свете приуроченности выявленных нефтепроявлений (залежей) к району Южного краевого разлома по аналогии с установленной закономерностью для Северной части Припятского прогиба в этом направлении следует ориентировать геологоразведочные работы для поисков промышленных залежей нефти.

Учитывая высокую тектоническую разблокированность подсолевого комплекса и значительные мощности межсолевого комплекса, представленного не только терригенными и карбонатными пластами-коллекторами, подготовку либо оценку структур следует производить современным сейморазведочным методом, включая 3Д, позволяющим детализировать геологическое строение и внутреннюю структуру межсолевого комплекса.

Выбор первоочередных структур для подготовки под поисковое бурение и оценку перспектив их нефтеносности следует производить также с использованием информативных гидрохимических показателей, включающих коэффициент закрытости структур и компонентный состав пластовых вод по содержанию аммония, радия, йода, сульфатов, позволяющих ориентировочно оценивать удаленность до прогнозируемых залежей нефти.

Выбор приоритетного участка для последующей постановки комплекса геолого-геофизических работ следует принимать с учетом представленного анализа и других альтернативных вариантов.

Список использованных источников

1. Грибик, Я. Г. Геологическая оценка Ельской (Познякевичской) залежи нефти в Припятском прогибе / Я. Г. Грибик // Літасфера. – 2016. – № 2 (45). – С. 94–107.
2. Бескопыльный, В. Н. Тектоническое районирование как основа прогноза остаточных перспектив нефтегазоносности Припятского прогиба / В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 25–27 мая 2011 г. – Гомель : Полесспечать, 2012. – С. 9–54.
3. Карта структурного районирования подсолевого комплекса Припятского прогиба для решения задач эффективного освоения ресурсов углеводородов. Масштаб 1 : 200 000 / В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик. – Минск : Белкартография, 2011.
4. Карта структурного районирования межсолевого комплекса Припятского прогиба для решения задач эффективного освоения ресурсов углеводородов. Масштаб 1 : 200 000 / В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик. – Минск : Белкартография, 2011.
5. Байкова, Т. А. Прогноз неантклинальных ловушек по комплексу геолого-геофизических данных / Т. А. Байкова // Природные резервуары нефти Припятского прогиба. – Минск : БелНИГРИ, 2001. – С. 90–108.
6. Грибик, Я. Г. Палеогеодинамическая взаимосвязь УКЩ с Припятским прогибом в районе Выступовичского олистострома / Я. Г. Грибик // Геологія і корисні копалини України : збірник тез. наук. конф., Київ, 2–4 жовтня 2018 р. / Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка. – Київ, 2018. – С. 50–52.
7. Микуцкий, С. П. Площадное распространение коллекторов межсолевого комплекса в пределах Внутреннего грабена / С. П. Микуцкий, З. Л. Познякевич // Природные резервуары нефти Припятского прогиба. – Минск : БелНИГРИ, 2001. – С. 126–142.
8. Грибик, Я. Г. Геологическая эффективность и достоверность гидрогеологической информации при нефтепоисковых работах в Припятском прогибе / Я. Г. Грибик // Перспективы развития минерально-сырьевой базы БССР. – Минск : БелНИГРИ, 1990. – С. 31–39.
9. Познякевич, З. Л. Направления дальнейших геологоразведочных работ / З. Л. Познякевич, С. П. Микуцкий, И. А. Слободянюк [и др.]. // Полезные ископаемые Беларуси ; редкол. П. З. Хомич и др. – Минск : Адкуацыя и выхаванне, 2002. – С. 151–154.

References

1. Gribik Ya. G. *Geologicheskaya ocenka El'skoj (Poznyakevichskoj) zalezhi nefti v Pripyatskom progibe* [Geological estimation of El'skaya (Poznyakevichskaya) oil deposit in the Pripyat Though]. *Litasfera* = *Lithosphere*, 2012, no. 2 (45), pp. 94–107. (in Russian)
2. Beskopl'nyj V. N., Ajzberg R. E., Gribik Ya. G. *Tektonicheskoe rajonirovanie kak osnova prognoza ostanochnyh perspektiv neftegazonosnosti Pripyatskogo progiba* [Tectonic zoning as the base of the forecast of the residual oil and gas prospects of the Pripyat Though]. *Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Proc. Int. Scientific Conf., Gomel, 25–27 May 2011. Gomel, 2012, pp. 9–54. (in Russian)
3. Beskopl'nyj V. N., Ajzberg R. E., Gribik Ya. G. *Karta strukturnogo rajonirovaniya mezhsolevogo kompleksa Pripyatskogo progiba dlya resheniya zadach effektivnogo osvoeniya resursov uglevodorodov. Masshtab 1 : 200 000* [A map of structural zoning of the undersalt complex of the Pripyat Though for the solution of the problems of effective carbon resources mastering 1 : 200 00 scale], Belkartografiya Publ., 2011. (in Russian)
4. Beskopl'nyj V. N., Ajzberg R. E., Gribik Ya. G. *Karta strukturnogo rajonirovaniya mezhsolevogo kompleksa Pripyatskogo progiba dlya resheniya zadach effektivnogo osvoeniya resursov uglevodorodov. Masshtab 1 : 200 000* [A map of structural zoning of the intersalt complex of the Pripyat Though for the solution of the problems of effective carbon resources mastering 1 : 200 00 scale]. Belkartografiya Publ., 2011. (in Russian)
5. Bajkova T. A. *Prognoz neantiklinal'nyh lovushek po kompleksu geologo-geofizicheskikh dannyh* [The forecast of non-anticlinal traps on the complex of geological and geophysical data]. *Prirodnye rezervuaryi nefti Pripyatskogo progiba* = *Resources of oil reservoirs of the Pripyat Though*. Minsk, BelNIGRI Publ., 2001, pp. 90–108. (in Russian)
6. Gribik Ya. G. *Paleogeodinamicheskaya vzaimosvyaz' UKSHCH s Pripyatskim progibom v rajone Vystupovichskogo olistostromma* [Paleogeodynamic connection of US with the Pripyat Though in the region of Vystupovichskij olistostrom]. Zbirnik tezisov naukovai konferentsii "Geologiya i korisni kopaliny Ukrayiny" [Proc. Sci. Conf. "Geology and resources of Ukraine"]. Kiev, 2–4 September 2018, Institute for Geochemistry, Mineralogy and Ore Creation named after M. P. Semenenko, Kiev, 2018, pp. 50–52. (in Russian)
7. Mikuckij S. P., Poznyakevich Z. L. *Ploshchadnoe rasprostranenie kollektorov mezhsolevogo kompleksa v predelakh Vnutrennego grabena* [Area distribution of the collectors of intersalt complexin the frame of Inner graben]. *Prirodnye rezervuaryi nefti Pripyatskogo progiba* = *Resources of oil reservoirs of the Pripyat Though*. Minsk, BelNIGRI Publ., 2001, pp. 126–142. (in Russian)
8. Gribik Ya. G. *Geologicheskaya effektivnost' i dostovernost' gidrogeologicheskoi informacii pri neftepoiskovyh rabotah v Pripyatskom progibe* [Geological effectiveness and credibility of hydrogeological information during oil prospecting work in the Pripyat Though]. *Perspektivyi razvitiya mineralno-syirevoy bazyi BSSR* [Prospects of the mineral and raw base development of the BSSR]. Minsk, BelNIGRI Publ., 1990, pp. 31–39. (in Russian)
9. Poznyakevich Z. L., Mikutskiy S. P., Slobodyanyuk I. A. [et al.]. *Napravleniya dalneyshih geologorazvedochnyih rabot* [Directions for further exploration]. *Poleznye iskopaemyie Belarusi* [Minerals of Belarus]. Ed. P. Z. Khomich [et al.]. Minsk, 2002, pp. 151–154.

Информация об авторах

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

Кондратенко Наталья Ивановна – зав. лабораторией коллекционных свойств ГП «НПЦ по геологии» (ул. Ирининская, 1, 246000, г. Гомель, Республика Беларусь). E-mail: nvkondratenko@mail.ru

Information about the authors

Yaroslav G. Gribik – Ph. D. (Geology and Mineralogy), Head of Lab. of Geotectonics and Geophysics, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yaroslavgribik@tut.by

Nataliya I. Kondratenko – Head of Lab. of Collection Peculiarities SE 'SPC on Geology' (Irininskaya str., 1, 246000, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: nvkondratenko@mail.ru

О ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИНАХ АНОМАЛЬНЫХ ПЛАСТОВЫХ ДАВЛЕНИЙ В НЕФТЕНОСНЫХ КОМПЛЕКСАХ РЕЧИЦКО-ВИШАНСКОЙ ЗОНЫ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

А. П. Кудрицкий

НГДУ «Речицанефть», РУП «ПО «Белоруснефть», Речица, Беларусь

Аннотация. Проанализирована геологическая информация о развитии и распространении аномальных давлений в осадочном бассейне северной структурной зоны Припятского прогиба. Рассмотрены проявления аномально высоких пластовых давлений в Припятском прогибе, на территории которого основные перспективы нефтегазоносности связаны с двумя нефтегазоносными комплексами девонского возраста. На примере месторождений с аномально высоким пластовым давлением Припятского прогиба показано, что с зонами аномально высоких пластовых давлений связаны наиболее погруженные участки южного опущенного крыла Речицко-Вишанского разлома.

Ключевые слова: углеводороды; Припятский прогиб; аномально высокое пластовое давление; градиент пластового давления.

Для цитирования. Кудрицкий А. П. О возможных причинах аномальных пластовых давлений в нефтеносных комплексах Речицко-Вишанской зоны Припятского прогиба // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 194–200.

ABOUT THE POSSIBLE CAUSES OF ABNORMAL FORMATION PRESSURES IN OIL-BEARING COMPLEXES RECHITSKOE-VESHENSKOY ZONE OF THE PRIPYAT TROUGH

A. P. Kudrytski

Oil and Gas Production Department Rechitsaneft, Republican Oil and Gas
Production Association Belorusneft, Rechitsa, Belarus

Abstract. Geological information on the development and distribution of anomalous pressures in the sedimentary basin of the Northern structural zone of the Pripyat trough is analyzed. Considered the manifestation of abnormally high formation pressures in the Pripyat trough, in the last major oil and gas prospects are associated with two oil-gas complexes of Devonian age. The example fields with abnormally high reservoir pressure of the Pripyat trough is shown that zones of abnormally high formation pressures are related to the most submerged areas of the southern wing lowered Rechitskoe-Vishenskogo fault.

Key words: hydrocarbons; Pripyat Trough; abnormally high reservoir pressure; reservoir pressure gradient.

For citation. Kudrytski A. P. About the possible causes of abnormal formation pressures in oil-bearing complexes Rechitskoe-Veshenskoy zone of the Pripyat trough. *Nature Management*, 2019, no 2, pp. 194–200.

Ведение. Припятская нефтегазоносная область является самым западным субширотным сегментом Припятско-Донецкого палеозойского авлакогена, который расположен в пределах древней Восточно-Европейской платформы и входит в более протяженную систему Сарматско-Туранского линеамента. Прогиб расположен между периклиналями Белорусской, Воронежской антиклизы, Жлобинской седловины на севере и Украинского щита на юге. На западе Полесская седловина отделяет Припятский прогиб от Подляско-Брестской впадины, а на востоке Брагинско-Лоевская седловина – от Днепровского прогиба [1]. Мощность осадочного чехла в ее самых погруженных участках достигает 6000 м. Основные современные черты структурного плана были заложены в речицкое время позднего франа, что выразилось в региональной перестройке структуры чехла, обособлении прогиба как замкнутой структуры, начале активизации разрывных нарушений и формирования тектонических ступеней [2].

Материалы и методы исследования. Информационную базу исследования составили данные, полученные во время поисково-разведочного и эксплуатационного бурения скважин, пробуренных в пределах рассматриваемой территории в разное время специалистами РУП «Белгеология» и РУП «ПО «Белоруснефть». В свою очередь, это позволяет проанализировать полученную инфор-

мацию и проследить площадное распространение по глубине аномальных давлений в пределах структур. В связи с этим полученная информация была рассмотрена и проанализирована, также в работе использовались литературные источники и серии опубликованных карт (тектонические, геологические).

Глубокое поисковое и разведочное бурение в 1950–1980 гг. на нефть и газ привело к открытию ряда крупных месторождений, приуроченных к Речицко-Вишанской зоне структурных поднятий в пределах Северного нефтегазоносного района (Речицкое, Осташковичское, Южно-Сосновское, Южно-Осташковичское, Вишансское и т. д.).

Нефтяные залежи месторождений приурочены в основном к карбонатным отложениям верхнего девона. Наиболее распространенными по площади являются продуктивные горизонты петриковско-задонского возраста, приуроченные к межсолевому комплексу отложений и саргаевско-воронежского возраста, которые относятся к подсолевому карбонатному комплексу девонского возраста.

Согласно современному представлению преобладающая часть перспективных ресурсов углеводородов (УВ) в Припятской нефтегазоносной области связана преимущественно с ловушками, содержащими небольшие по размерам залежи. Также, по нашему мнению, не исключен вариант выявления крупных потенциальных нефтегазоносных объектов сложного геологического строения, которые на данном этапе не выявлены из-за ограниченных возможностей по картированию ловушек нетрадиционного типа.

При всем многообразии поставленных задач поискового бурения в процессе изучения Припятской нефтегазоносной области первоочередное ее значение, по нашему мнению, следует акцентировать на гидрогеологической характеристики флюидоупорных и водонапорных систем и их роли в формировании, сохранении и разрушении залежей УВ. Для северной части Припятского прогиба это особенно важно в связи с разработкой основных месторождений, оказывающих влияние на текущий энергетический потенциал флюидонапорных систем.

Изменение пластовых давлений в нефтеперспективных комплексах осадочных бассейнов, в том числе и Припятского прогиба, находится в линейной зависимости от глубины залегания. Основным определяющим фактором этой зависимости является глубина залегания пластов-коллекторов.

По обобщенным данным для нефтеперспективных комплексов Припятского прогиба установлены графики изменения пластовых давлений с глубиной. На приведенном на рис. 1 графике представлены зависимости изменения пластовых давлений для залежей нефти, а также пластовых вод межсолевого и подсолевого карбонатного комплексов. В межсолевом комплексе пластовые давления возрастают с глубиной по линейной зависимости, описанных формулой $P = (H - 404,96) / 72,101$. Зависимость довольно устойчивая с коэффициентом корреляции 0,9412. Для ее построения использованы замеры пластовых давлений, характеризующих пласты-коллекторы общераспространенного типа, не включая резервуары с аномально высоким пластовым давлением (АВПД), характеризующиеся другой зависимостью.

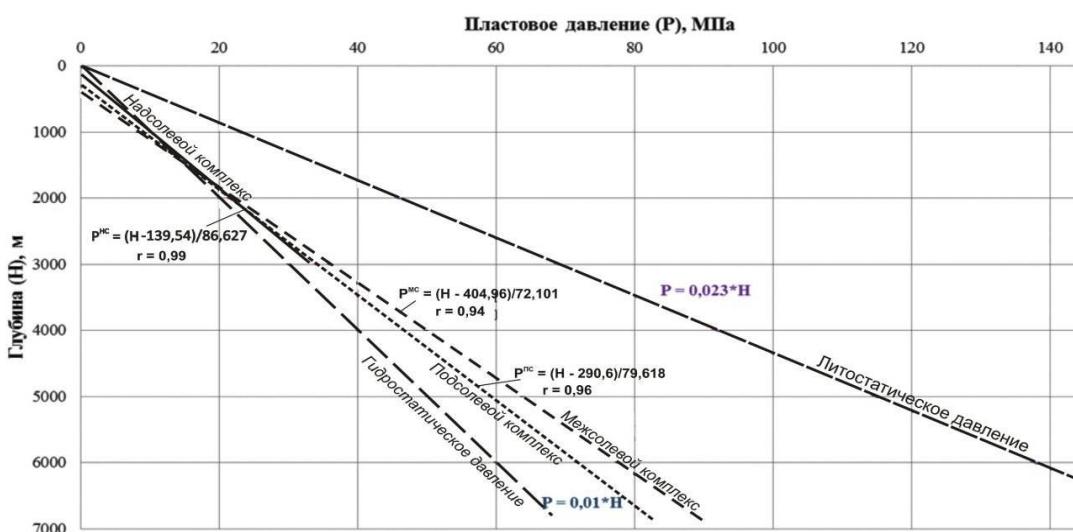


Рис. 1. Зависимость пластового давления от глубины залегания по надсолевому, межсолевому и подсолевому комплексам Припятского прогиба [6]

Fig. 1. Dependence of reservoir pressure on the depth of occurrence in the pre-salt, inter-salt and subsalt complexes Pripyat Trough [6]

В подсолевом комплексе зависимость пластового давления от глубины описывается формулой $P = (H - 290,6) / 79,618$ с коэффициентом корреляции равным 0,9626 (см. рис. 1). Следует отметить, что энергетический потенциал резервуаров межсолевого комплекса на одной и той же глубине выше примерно на 2–3 МПа, что, очевидно, связано с тектонофизическим процессом воздействия верхне- и нижнесоленосных толщ Припятского прогиба.

В надсолевом комплексе пластовые давления возрастают с глубиной по зависимости $P = (H - 139,54) / 86,627$ с коэффициентом корреляции 0,991. Разрез надсолевого комплекса водонасыщенный, залежей нефти не установлено.

Сравнение энергетического состояния геофлюидальной среды целесообразно выполнять по градиентам пластовых давлений, так как этот показатель характеризует среду объектов, находящихся на разных гипсометрических уровнях по единому однозначному показателю [6].

Градиент пластового давления (ГПД) – отношение величины пластового давления к глубине залегания пласта, т. е. изменение величины пластового давления на единицу глубины. В более ранних исследованиях, когда давление измерялось в атмосферах ($\text{кГс}/\text{см}^2$) градиент пластового давления определялся на 10 м глубины. В настоящее время, когда единицей давления в системе СИ принят Паскаль, градиент определяется в размерности МПа на 100 м глубины. Оценка ГПД играет важную геологическую роль, поскольку характеризует энергетику флюида в пласте, а также технологическую роль, позволяющую определяться с выбором плотности бурового раствора при вскрытии перспективных горизонтов при бурении и параметров их испытания.

Эти достижения смогут способствовать пониманию и, в свою очередь, достоверности оценки потенциальной продуктивности перспективных объектов. При поисково-разведочном бурении на нефтяных залежах, выявленных в пределах Речицко-Вишанской зоны поднятий Северного нефтегазоносного района Припятского прогиба, в интервале залегания пограничных комплексов межсолевых отложений, приуроченных к петриковско-задонскому возрасту было установлено наличие АВПД с коэффициентом аномальности от 1,20 до 1,51.

Как геологическое явление АВПД имеет достаточно широкое распространение в осадочном чехле нефтегазоносных бассейнов мира. Природа и причины возникновения АВПД до конца не выяснены и являются предметом дискуссий [3]. Однако стоит отметить следующее: аномально пластовое давление существует в изолированных системах и, прежде всего, свидетельствует о закрытости недр. По вопросу о генезисе аномально пластового давления нет единого мнения. Основными причинами образования АВПД считается уплотнение глинистых пород, процессы осмоса, катагенетического преобразования пород и содержащегося в них органического вещества, процессы тектогенеза и геотермические условия земных недр. Каждый из этих факторов может преобладать в зависимости от геологического строения и истории развития региона [4]. Однако стоит подчеркнуть, что аномальность в той или иной степени связана с тектоническими факторами. С одной стороны, если рассматривать историю геологического развития, то в зависимости от времени активизации и проявления Речицко-Вишанского регионального разлома и его амплитуды по подсолевым отложениям в раннелебедянское время и определяло формы разрывных нарушений по межсолевым отложениям. Примером, где эта связь достаточно явно прослеживается, может служить хорошо изученная бурением, зона в пределах южного опущенного крыла Речицко-Вишанского разлома от Мармовичского до Тишковского нефтяных месторождений.

В настоящей статье рассматривается природа АВПД и закономерности нефтеносности вмещающих пород с других позиций, в частности литологических и гидродинамических особенностей разреза межсолевых отложений Северного нефтегазоносного района Припятского прогиба.

С точки зрения классического представления строения межсолевых отложений вдоль Речицко-Вишанского регионального разлома послужили деформационные изменения в раннелебедянское время путем перемещения отдельных участков межсолевых структур в более низкое гипсометрическое положение, что подтверждается гидродинамическими данными. Это подтверждается публикациями, а также обоснованиями, приведенными на конкретных месторождениях Припятского прогиба [7]. Так, на примере Сосновского месторождения с градиентом 1,29 МПа/100 м и Южно-Сосновского с градиентом 1,48–1,5 МПа/100 м аномальность пластового давления объясняется тем, что сформированная залежь нефти в лебедянское время, после смещения от северного крыла постепенно опускалась в изолированном состоянии, что подвергло залежь к дополнительной геостатической нагрузке в условиях полной изолированности блока соленосными отложениями. Это позволяет пояснить явление АВПД и рассматривать общие гидродинамические подходы в образовании и аккумуляции УВ на рассматриваемой территории.

При анализе распределения пластовых давлений в наиболее изученном северном нефтегазоносном районе Припятского прогиба можно утверждать о достаточно упорядоченном характере распределения пластовых давлений, как по вертикали, так и латерали. Распределение АВПД по разрезу

месторождений обуславливается в первую очередь факторами, вызвавшими их образование. Иначе говоря, при наличии зон развития на локальных структурах различных тектонических зон в разрезе с нормальными пластовыми давлениями этих структур АВПД может служить хорошим критерием при поисково-разведочном бурении. Так в свое время отмеченная территория оказалась на участке, в пределах которого установлены крупные месторождения: Мармовичское, Сосновское, Южно-Сосновское, Давыдовское, Осташковичское, Речицкое, Ветхинское, Некрасовское и др.

С целью изучения регионального распространения коллекторов нами собраны и обработаны результаты замеров давлений испытаний на приток межсолевых и подсолевых отложений Речицко-Вишанской зоны Припятского прогиба. При 419 испытаниях в процессе бурения и при 160 освоениях в эксплуатационной колонне значения градиентов пластовых давлений были установлены лишь в 170 случаях, из которых получен приток пластового флюида и восстановилось давление до пластового (*проанализированные данные по испытаниям горизонтов в период с 1966 по 2016 г.*).

Исходя из имеющихся значений градиентов пластовых давлений в Припятском прогибе пласты-коллекторы были подразделены на следующие:

аномально высокоградиентные (градиенты пластовых давлений $>1,5 \text{ МПа}/100 \text{ м}$), градиенты наиболее погруженных полиглобоков приразломных сбросово-блочных уступов (8 % от количества значений начальных градиентов пластовых давлений);

высокоградиентные ($1,20\text{--}1,49 \text{ МПа}/100 \text{ м}$), градиенты умеренно погруженных блоков приразломных сбросово-блочных уступов (13 %);

среднеградиентные ($1,00\text{--}1,19 \text{ МПа}/100 \text{ м}$), градиенты структурного гребня и террасы ступени (75 %);

низкоградиентные ($<1,0 \text{ МПа}/100 \text{ м}$), градиенты южной части структурного гребня ступени (4 %).

При рассмотрении статистических данных наибольшее количество месторождений сосредоточено в структурах с развитием высокоградиентных залежей. В свою очередь, эти залежи развиты в основном в карбонатном коллекторе межсолевых отложений, что дополнительно указывает на перспективность дальнейших поисков высокоградиентных участков (рис. 2).

В большей части пород-коллекторов, распространенных в подсолевом комплексе, были выявлены значения градиентов в пределах от $1,0 \text{ МПа}/100 \text{ м}$ до $1,19 \text{ МПа}/100 \text{ м}$. В основном это залежи, приуроченные к воронежско-саргаевским и ланскому-старооскольским отложениям Припятского прогиба, которые выделены в отдельную группу среднеградиентных пластов (рис. 3). Данные значения приурочены к зонам структурного гребня и террасы рассматриваемой ступени. В этой группе наиболее часто (60 % от всех значений начальных градиентов пластовых давлений) встречаются значения начального пластового градиента в пределах от $1,1 \text{ МПа}/100 \text{ м}$ до $1,2 \text{ МПа}/100 \text{ м}$ (среднее значение составило $1,147 \text{ МПа}/100 \text{ м}$).

Аномально высокоградиентные (градиенты больше $1,5 \text{ МПа}/100 \text{ м}$) наблюдаются в ланских-старооскольских и семилуко-саргаевских зонах отложений в депрессионных зонах погруженных полиглобоков, где были выявлены залежи Некрасовского и Ветхинского, Барсуковского месторождений, а также в промежуточном глубоко-погруженном центральном блоке Южно-Тишковского месторождения в межсолевом комплексе (градиент давления при испытании трехмянских слоев задонского горизонта составил $1,91 \text{ МПа}/100 \text{ м}$ (скважина № 43, глубина 4018 м (абсолютная отметка $-3786,4 \text{ м}$)).

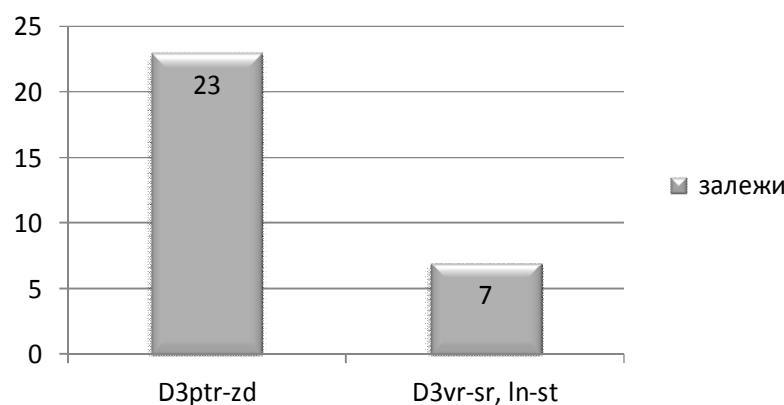


Рис. 2. Распределение залежей нефти с аномально и высокоаномальным градиентом давлений, $\text{МПа}/100 \text{ м}$

Fig. 2. Distribution of oil deposits with anomalous and highly anomalous pressure gradient, $\text{МПа}/100 \text{ м}$

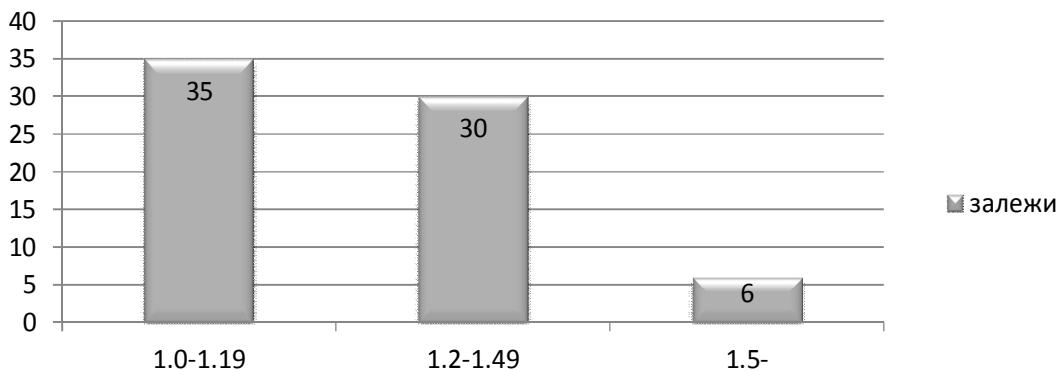


Рис. 3. Распределение залежей нефти в Припятском прогибе по градиенту давлений, МПа/100 м

Fig. 3. The distribution of oil deposits in the Pripyat Trough according to the pressure gradient, MPa/100 m

Высокоградиентные пласти установлены в основном на месторождениях, расположенных в пределах южного уступа Речицко-Вишанской ступени и представлены чаще всего межсолевыми отложениями. Значения градиентов варьируют от 1,48 МПа/100м до 1,20 МПа/100 м в зависимости от различной степени погруженности месторождений, что, вероятно, и стало причиной увеличения по отношению к среднему значению начальных градиентов подсолевых ланско-старооскольских и претерозойских отложений. Градиент с высоким значением также выявлен при испытании изучаемых отложений скважины № 1 Северно-Вишанская в верхнесоленосном комплексе. Кроме того, значение градиента 1,26 МПа/100 м было зафиксировано в скважине № 1 Предречицкая. Перспективы нефтеносности Угольской площади с градиентом 1,24–1,34 МПа/100 м уже были подтверждены и могут указывать на наличие ловушки нефти в Восточно-Угольском блоке. Предполагается, что эти блоки отделились от Тишковской палеоструктуры после формирования в них залежей нефти. Однако интенсивная соляная тектоника в нижне- и верхнесоленосном комплексах в пределах Угольского и Восточно-Угольского блоков не позволяет установить время подвижек по сбросам, ограничивающим эти блоки, но вселяет надежду на выявление промышленной нефтеносности в коллекторах воронежского и семилукского горизонтов Восточно-Угольской площади.

Низкие значения начальных градиентов пластовых давлений (менее 1,0 МПа/100 м) были отмечены в районе скважины № 9016 Левашовской (0,94 МПа/100 м) и восточной части Речицкого месторождения (0,98 МПа/100 м), находящихся в южной части гребня рассматриваемой структуры. Это свидетельствует о том, что замеренные давления не являются первоначальными: нарушены в связи с разработкой других залежей.

Анализ геологического строения Речицко-Вишанской ступени и распределения зон пластов-коллекторов позволяет предположить наличие гидрогеологически изолированных друг от друга участков в районах:

Вишанской, Мармовичской, Давыдовской и Сосновской структур (межсолевой комплекс);
Осташковичской и Тишковской структур (межсолевой комплекс);
Речицкой и Левашовской структур (межсолевой комплекс);
Восточно-Первомайской структуры (подсолевой комплекс);
Ветхинской и Некрасовской структур (подсолевой комплекс).

В основном, районы разделены зонами развития либо отсутствия пластов-коллекторов, кроме последних двух, отделённых от остальных высокоамплитудным разломом.

В связи с вышесказанным, анализируя геологическое строение Речицко-Вишанской зоны, можно выделить две зоны, гидрогеологически изолированные друг от друга высокоамплитудным разломом: зону приразломного сбросово-блочного уступа на полиглобах депрессий (в районе Ветхинской и Некрасовской площадей); зону в районе распространения структурного гребня на Речицко-Вишанской ступени.

Выводы

1. Структуры с высоким градиентом пластового давления зачастую отмечены в зонах погруженных полиглобов, а также промежуточных блоков Речицко-Вишанского разлома и расположенных преимущественно на площадях, где ведется либо велась разработка в районе Вишанского, Восточно-Первомайского, Речицкого, Тишковского, Ветхинского и Некрасовского месторождений. На других площадях перспективы могут быть связаны с глубокопогруженными уступами и промежуточными погруженными блоками.

2. На территории Речицко-Вишанской тектонической ступени четко наблюдается определенная зависимость распределения градиентов пластовых давлений по залежам и некоторая приуроченность сравнительно высоких значений к более погруженным участкам, которые представлены карбонатными отложениями межсолевого возраста и характеризуются сравнительно небольшими по объемам геологическими запасами нефти. Неравномерное распределение запасов, скорее всего, связано с геологическими и палеотектоническими преобразованиями, относительной изменчивостью фациальных условий формирования пород-коллекторов и их последующими вторичными изменениями – процессами уплотнения и карбонатизации.

3. Для прогноза перспектив нефтеносности промежуточных блоков представляется целесообразным более тщательно производить анализ истории геологического развития зон Речицко-Вишанского разлома с учетом установленного процесса перемещения в палеоплане по регионально-му разлому ранее сформированных залежей нефти.

Список использованных источников

- Геология Беларуси : учеб. для вузов / А. С. Махнач [и др.]. – Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 2001. – 814 с.
- Бескопыльный, В. Н. Тектоническое районирование как основа прогноза остаточных перспектив нефтегазоносности Припятского прогиба // Потенциал добычи горючих ископаемых в Беларуси и прогноз его реализации в первой половине XXI века : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / В. Н. Бескопыльный, Р. Е. Айзберг, Я. Г. Грибик. – Гомель : Полеспечать, 2012. – С. 9–54.
- Аникиев, К. А. Аномально высокие пластовые давления в недрах нефтяных и газовых месторождений / К. А. Аникиев. – Л. : Недра. Ленингр. отд-ние, 1964. – 168 с.
- Аникиев, К. А. Прогноз сверхвысоких пластовых давлений и совершенствование глубокого бурения на нефть и газ / К. А. Аникиев. – Л. : Недра, 1971. – 167 с.
- Аникиев, К. А. Закономерности возникновения и распространения АВПД в осадочном чехле глубоких нефте-газоносных впадин / К. А. Аникиев, А. Я. Введенская, Л. П. Шендерей // Прогноз и оценка нефтегазоносности недр на больших глубинах. – Л. : Недра, 1986. – 248 с.
- Грибик, Я. Г. Динамика пластовых давлений в девонских нефтеносных комплексах северной части Припятского прогиба, находящихся в зоне влияния разрабатываемых залежей нефти / Я. Г. Грибик // Літасфера, 2019. – № 1 (50). – С. 42–61.
- Грибик, Я. Г. Некоторые особенности геологического строения Припятского прогиба с учетом тектонических деформаций горных пород / Я. Г. Грибик // Геологические проблемы разведки углеводородов в Беларуси. – Минск : Ин-т геол. наук НАН Беларуси, 1992. – С. 109–120.

References

- Garetskiy R. G., Matveyev A. V., Makhnach A. S. *Geologiya Belarusi* [Geology of Belarus]. Ucheb. dlya vuzov [Text-book for universities]. Minsk, Institute of Geol. Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, 2001, 814 p. (in Russian)
- Beskopyl'nyy V. N., Ayzberg R. Ye., Gribik Ya. G. *Tektonicheskoye rayonirovaniye kak osnova prognoza ostatochnykh perspektiv neftegazonosnosti Pripyatskogo progiba* [Tectonic zoning as a basis for forecasting the residual oil and gas prospects of the Pripyat Trough]. Potentsial dobychi goryuchikh iskopayemykh v Belarusi i prognoz yego realizatsii v pervoy polovine XXI veka: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Proc. Int. Conf. "Potential for the extraction of fossil fuels in Belarus and a forecast for its implementation in the first half of the 21st century"]. Gomel, Polespechat Publ., 2012, pp. 9–54. (in Russian)
- Anikiyev K. A. *Anomal'no vysokiyе plastovyye davleniya v nedrakh neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* [Abnormally high reservoir pressure in the bowels of oil and gas fields]. Nedra = The bowels. Leningrad, 1964, 168 p. (in Russian)
- Anikiyev K. A. *Prognoz sverkhvysokikh plastovykh давлений i sovershenstvovaniye glubokogo burenija na neft' i gaz* [Forecast of ultrahigh reservoir pressure and improvement of deep drilling for oil and gas]. Nedra = The bowels. Leningrad, 1971, 167 p. (in Russian)
- Anikiyev K. A., Vvedenskaya A. Ya., Shenderey L. P. *Zakonomernosti vozniknoveniya i rasprostraneniya AVPD v osadochnom chekhle glubokikh neftegazonosnykh vpadin* [Regularities of the occurrence and distribution of AVPD in the sedimentary cover of deep oil and gas depressions]. Prognoz i otsenka neftegazonosnosti nedr na bol'shikh glubinakh [Forecast and assessment of oil and gas content of the bowels at great depths]. Leningrad, 1986, 248 p. (in Russian)
- Gribik Ya. G. *Dinamika plastovykh давлений v devonskikh neftenosnykh kompleksakh severnoy chasti Pripyatskogo progiba, nakhodyashchikhsya v zone vliyanija razrabatyvayemykh zalezhey nefti* [Dynamics of reservoir pressures in the Devonian oil complexes of the northern part of the Pripyat trough, which are in the zone of influence of the developed oil deposits]. Litasfera = Lithosphere, 2019, no. 1 (50), pp. 42–61. (in Russian)

7. Gribik Ya. G. *Nekotoryye osobennosti geologicheskogo stroyeniya Pripyatskogo progiba s uchetom tektonicheskikh deformatsiy gornykh porod* [Some features of the geological structure of the Pripyat trough taking into account tectonic deformations of rocks]. *Geologicheskiye problemy razvedki uglevodorodov v Belarusi* [Geological problems of hydrocarbon exploration in Belarus]. Minsk, Institute of Geol. Sciences of the Academy of Sciences of Belarus, 1992, pp. 109–120. (in Russian)

Информация об авторе

Кудрицкий Андрей Петрович – геолог, отдел оперативного контроля бурения, Центр геолого-технологического сопровождения бурения НГДУ «Речица нефть» РУП «ПО «Белоруснефть» (ул. Ленина, 43, 247500, г. Речица, Гомельская обл., Беларусь). E-mail: a.kudritskiy@beloil.by

Information about the author

Andrei P. Kudrytski – geologist, Department of operational control of drilling, Center of geological and technological support of drilling, Oil and Gas Production Department Rechitsaneft, Republican Oil and Gas Production Association Belorusneft (43 Lenin Str., Rechitsa, Gomel region, 247500, Republic of Belarus). E-mail: a.kudritskiy@beloil.by

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИКИ НА ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКУЮ ОБСТАНОВКУ В БЕЛОРУССКОМ ПООЗЕРЬЕ

А. В. Матвеев, В. П. Зерницкая

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь

Аннотация. Исследованы последствия проявления на территории Белорусского Поозерья современных геологических процессов, которые могут вызывать нарушения природных и техногенных комплексов, неблагоприятно влиять на здоровье населения. Учитывая значительную территориальную неравномерность развития и последствий современной геодинамики, проведена дифференциация региона с выделением площадей с высокой (до 10 баллов), относительно высокой (11–15), умеренной (16–22), пониженной (23–30), низкой (31–35) и весьма низкой (более 35 баллов) степенями комфортности среды обитания для населения.

Ключевые слова: современные геологические процессы; последствия проявления; комфортность геоэкологических обстановок; дифференциация территории.

Для цитирования. Матвеев А. В., Зерницкая В. П. Влияние современной геодинамики на геоэкологическую обстановку в Белорусском Поозерье // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 201–206.

THE INFLUENCE OF MODERN GEODYNAMICS ON THE GEOECOLOGICAL SITUATION OF BELARUSIAN POOZER'E

A. V. Matveyev, V. P. Zernitskaya

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

Abstract. The manifestations of modern geological processes and their consequences which can cause disturbances in natural and technogenic complexes, and adversely affect on the health of population were investigated on the territory of the Belarusian Poozer'e. Differentiation of the region with the allocation of areas with high (up to 10 points), relatively high (11–15), moderate (16–22), relatively low (23–30), low (31–35) and very low (more than 35 points) degrees of comfortable environment for population were carried out taking into account the significant territorial unevenness of development and the consequences of modern geodynamics.

Key words: modern geological processes; consequences of manifestation; comfort of geoecological conditions; differentiation of the territory.

For citation. Matveyev A. V., Zernitskaya V. P. The influence of modern geodynamics on the geoecological situation of Belarusian Poozer'e. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 201–206.

Территория Белорусского Поозерья характеризуется относительно выровненным рельефом земной поверхности, тем не менее здесь, как и во многих других регионах, довольно разнообразно проявляются современные геологические процессы [1]. Их реализация может вызывать деформации природных и природно-техногенных комплексов, влиять на здоровье населения, неблагоприятно воздействовать на геоэкологическую обстановку в целом. О последствиях современной геодинамики неоднократно отмечалось в публикациях разных авторов [2–5]. Однако при проведении исследований по любому конкретному региону необходимы дополнительные оценки этих последствий в связи со своеобразием геологического строения, рельефа и уровня хозяйственного развития.

Учитывая сказанное, при выполнении в Институте природопользования НАН Беларуси работ по проекту БРФФИ № X18МС–007 «Исследование эволюции природных обстановок и экологических условий на территории Белорусского и Литовского Поозерий в голоценовое время, оценка качества окружающей среды для проживания населения» (2018–2020 гг.) были получены новые данные по влиянию отдельных геодинамических процессов и их комплексов на комфортность среды обитания человека. Эти материалы по самому северному региону страны приведены в данной статье.

Основные последствия проявления геодинамических факторов. С учетом геологогеоморфологических особенностей Белорусского Поозерья [6] и опубликованных ранее материалов по проявлению эндогенных, экзогенных и техногенных процессов [7] можно утверждать, что главное влияние на геоэкологическую обстановку оказывают из эндогенных процессов сейсмичность, другие

геодинамические процессы в зонах активных разрывных нарушений (разломов и наиболее протяженных топо- и космолинеаментов); из экзогенных – различные виды эрозии, подтопление, гравитационные процессы, потенциальные проявления карста, формирование болот, заболачивания; из техногенных – перемещение грунтов при различных видах строительных работ и добыче полезных ископаемых, складирование бытовых и производственных отходов, загрязнение покровных отложений, поверхностных и подземных вод.

Проявление перечисленных видов процессов обусловливают деформации природных комплексов, сельхозугодий, различных сооружений, формирование геофизических и геохимических аномалий, изменение состава покровных отложений, поступление газовых эманаций из глубинных горизонтов чехла и фундамента, ухудшение инженерно-геологических свойств грунтов, снижение плодородия почв, повышение аварийности на транспорте, нарушение работы электронной аппаратуры, ухудшение здоровья населения и т. д.

Как было отмечено ранее [8, 9], для общей оценки влияния перечисленных выше последствий проявления геодинамических процессов на среду обитания человека, все их многообразие может быть сведено к следующим обобщенным показателям: повторяемость (длительность) воздействие процессов, влияние на здоровье населения, нарушенность природных комплексов и сельскохозяйственных угодий, ограничения в выборе мест строительства новых инженерных сооружений, размер материальных затрат на минимизацию ущерба от проявлений геодинамики. С учетом того, что точные количественные характеристики этих показателей до сих пор не обоснованы, авторами использованы условные балльные оценки, причем степень неблагоприятности проявления каждого процесса оценивалась от 1 до 5 баллов (1 – незначительная; 2 – умеренная; 3 – повышенная; 4 – значительная; 5 – весьма значительная), а периодичность (длительность) воздействия – от 1 до 3 баллов (1 – раз в десятилетие и реже; 2 – сезонное, раз в несколько лет; 3 – постоянное).

С учетом этих показателей была составлена таблица, в которой приведены балльные оценки наиболее распространенных геологических факторов, оказывающих неблагоприятное воздействие на среду обитания населения (табл. 1). Подводя итог полученным данным, можно рассчитать суммарные (максимальные) величины дестабилизирующего проявления каждого из факторов. Они сводятся к следующему: сейсмичность – 6 баллов, процессы в зонах активных разломов – 21, процессы в зонах наиболее протяженных топо- и космолинеаментов – 13, овражная эрозия – 8, плоскостная эрозия более 2 мм/год – 4, подтопление территории – 5–6, гравитационные процессы – 7, потенциальное проявление карста – 7, распространение болот и заболоченных земель 11 и 7 соответственно, объемы техногенного перемещения грунтов – 6–14, радионовые аномалии в почвенном воздухе – 6–11, природно-техногенные геохимические аномалии – 6 баллов.

В полученных оценках содержится определенный элемент условности, зависящий от взглядов автора и степени изученности проблемы. При более детальных исследованиях, особенно при их выполнении коллективом специалистов разного профиля (геологов, экологов, медиков, при консультации с представителями различных отраслей хозяйственной деятельности), полученные оценки могут быть уточнены.

Дифференциация геоэкологических обстановок. Учитывая, что процессы современной геодинамики на исследованной территории проявляются достаточно неравномерно, их влияние на геоэкологическую обстановку также должно значительно варьировать по площади. Для конкретизации этого предположения построенная ранее схема современной геодинамики [7] Белорусского Поозерья была разбита на квадраты площадью 625 км² каждый. Всего выделено 80 таких квадратов, в пределах которых, используя данные табл. 1, оценивалось возможное влияние на геоэкологическую обстановку проявляющихся здесь процессов. Для этого учитывалась их интенсивность и на какой части квадратов (в %) они проявляются. Величины по каждому процессу суммировались, их значения относились к центрам квадратов. После этого были проведены изолинии через разные значения полученных величин (2, 5, 10 баллов). Затем, анализируя особенности распределения изолиний и значимость изменений уровня благоприятности природной среды на определенных интервалах, было принято решение о выделении следующих шести градаций территорий: с высокой (до 10 баллов), относительно высокой (11–15), умеренной (16–23), пониженной (23–30), низкой (30–35) и весьма низкой (более 35 баллов) степенями комфортности геоэкологических обстановок для населения (табл. 2), распространение которых показано на рис. 1.

Высокая степень благоприятности для населения (до 10 баллов) характерна для относительно небольших участков, преимущественно в южной части изученного региона и на крайнем северо-востоке (севернее Островца, юго-западнее Докшиц, южнее Лепеля и северо-восточнее Городка). Общая площадь таксона не превышает 7 % поверхности региона. На входящих в его состав участках преобладают моренные, флювиогляциальные отложения и краевые ледниковые образования. Учитывая, что на выделенных участках возможно только локальное распространение относительно неблагоприятных проявлений геологических условий, для реабилитации этих территорий практически не требуются капитальные вложения.

Таблица 1. Современные геологические процессы и факторы, влияющие на среду обитания населения**Table 1. Modern geological processes and factors affecting on the habitat of the population**

Процесс(ы)	Оценка последствий проявления факторов, балл				
	Повторя-емость воздействия	Вызываемые нарушения природных комплексов и сельхозугодий	Влияние на здоровье населения	Влияние на размещение промышленных объектов	Материальные затраты, необходимые для минимизации неблагоприятных проявлений
1. Сейсмичность – до 5 баллов	1	1	1	2	1
2. Геодинамические процессы в зонах активных разломов	3	3	5	5	5
3. Наиболее протяженные космо- и тополинеаменты	3	2	2	3	3
4. Овражная эрозия	2	1	–	3	2
5. Плоскостная эрозия 2 мм/год и более	2	1	–	–	1
6. Подтопление территории: городов других населенных пунктов	2 2	1 –	–	1 1	2 1
7. Гравитационные процессы	2	1	–	2	2
8. Потенциальное проявление карста	2	1	–	3	1
9. Болотообразование Заболоченность земель	3 3	– –	2 1	3 1	3 2
10. Общие объемы грунтов, перемещенные техногенными процессами, м ³ /км ² :					
до 15 тыс.	3	1	1	–	1
15–30 тыс.	3	2	1	1	1
30–40 тыс.	3	2	1	2	2
более 100 тыс.	3	3	2	3	3
11. Радоновые аномалии в почвенном воздухе:					
потенциальная радиоопасность территории	3	1	4	1	2
потенциальная радиоопасность территории отдельных площадей	3	1	2	–	1
потенциальная радиоопасность территории локальных участков	3	1	1	–	1
12. Природно-антропогенные геохимические аномалии в покровных отложениях	3	1	–	1	1

Таблица 2. Особенности территорий с различной степенью комфорта геоэкологических обстановок для населения**Table 2. Features of territories with varying degrees of comfort of the ecology conditions for the population**

Степень комфорта	Оценка в баллах	Проявление неблагоприятных геологических процессов и условий
Высокая	До 10	Локальное проявление сейсмичности, заболачивания, плоскостного смыва, овражной эрозии, техногенная нагрузка на земную поверхность до 5 тыс. м ³ грунтов на 1 км ²
Относительно высокая	11–15	Проявление потенциальной радиоопасности почвенного воздуха, сейсмичности до 5 баллов и плоскостного смыва на локальных участках, развитие заболачивания, овражной эрозии на отдельных площадях, техногенные нагрузки на земную поверхность до 8–10 тыс. м ³ грунтов на 1 км ²

Окончание табл. 2
The end of table 2

Степень комфортности	Оценка в баллах	Проявление неблагоприятных геологических процессов и условий
Умеренная	16–22	Распространение болот и заболоченных земель на отдельных площадях, иногда значительных, проявление потенциальной радиоопасности почвенного воздуха на отдельных площадях, локальное распространение плоскостного смыва, овражной эрозии, сейсмичности до 5 баллов, гравитационных процессов, геохимических аномалий в покровных отложениях. Техногенные нагрузки на земную поверхность 10–20 тыс. м ³ грунтов на 1 км ²
Пониженная	23–30	Распространение болот и заболоченных земель на отдельных площадях, иногда значительных, развитие овражной эрозии, плоскостного смыва, геохимических аномалий в покровных отложениях, потенциальная радиоопасность почвенного воздуха на отдельных площадях, техногенная нагрузка на земную поверхность 20–30 тыс. м ³ грунтов на 1 км ² (на отдельных участках – до 130 тыс. м ³ /км ²)
Пониженная в зонах протяженных космо- и тополинеаментов		Аномалии электромагнитных полей, подъем минерализованных вод до 80–100 м, потенциальные проявления карста, радионовых аномалий в почвенном воздухе, геохимические аномалии в покровных отложениях, повышение на отдельных участках скоростей вертикальных движений земной коры, трещиноватость горных пород
Низкая	31–35	Потенциальные проявления карста, техногенной суффозии, подтопления, геохимические аномалии в покровных отложениях и подземных водах, радиоопасность почвенного воздуха на отдельных площадях, локальное развитие плоскостной и линейной эрозии, гравитационных процессов. Техногенная нагрузка на земную поверхность более 200 тыс. м ³ грунтов на 1 км ²
Весьма высокая в зонах активных разломов	Более 35	Комплексные геофизические аномалии, геохимические аномалии в покровных отложениях и подземных водах, потенциальная радиоопасность почвенного воздуха, повышенные знакопеременные скорости вертикальных движений земной коры, проявление горизонтальных движений, раздробленность горных пород, возможное повышение на 1 балл интенсивности сейсмических процессов

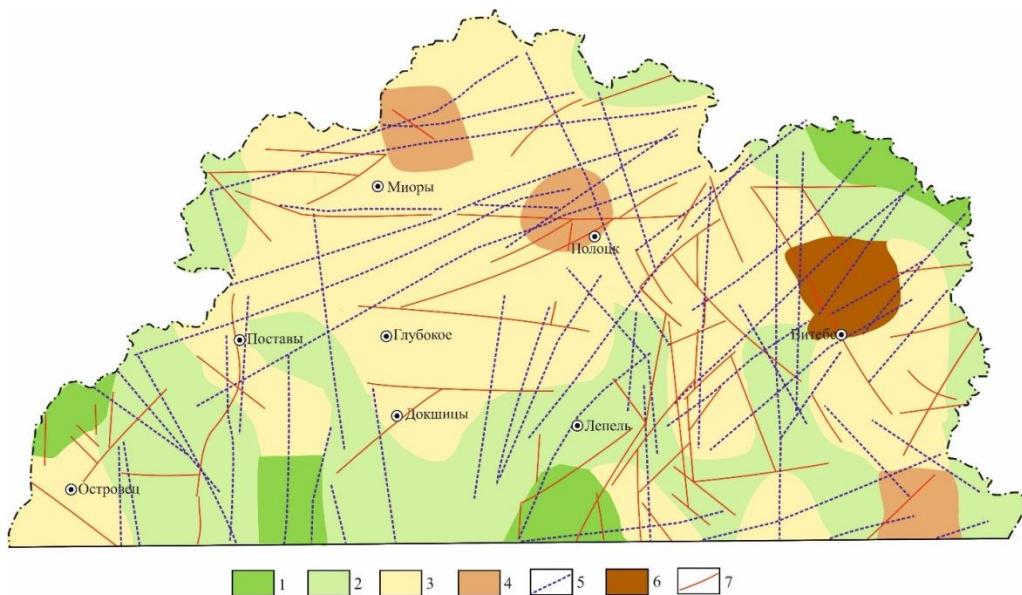


Рис. 1. Схема дифференциации территории Белорусского Поозерья по степени комфорта геоэкологической обстановки для населения. Степень благоприятности: 1 – высокая; 2 – относительно высокая; 3 – умеренная; 4 – пониженная; 5 – пониженная в зонах протяженных топо- и космолинеаментов; 6 – низкая; 7 – весьма низкая в зонах активных разломов

Fig. 1. The scheme of differentiation of the territory of the Belarusian Lake District according to the degree of geoecological comfort for the population. The degree of comfort: 1 – high; 2 – relatively high; 3 – moderate; 4 – lowered; 5 – lowered in the zones of extended topo- and cosmolineaments; 6 – low; 7 – very low in the zones of active faults

Площади с относительно высокой степенью комфортности (11–15 баллов) для населения занимают значительные пространства в южной части региона и имеют ограниченное распространение в северной половине. В целом они занимают 29 % поверхности региона. На этой территории с поверхности распространены моренные, флювиогляциальные отложения, краевые ледниковые образования, а на локальном участке на крайнем северо-востоке – озерно-ледниковые отложения. В связи с ограниченным проявлением здесь современной геодинамики пониженной интенсивности устранение неблагоприятных последствий геологических процессов вполне возможно местными органами власти с привлечением населения.

Площади с умеренной степенью благоприятности для населения (16–22 балла) занимают около 55 % Поозерья. Они преимущественно сосредоточены в его центральной части, но на отдельных участках встречаются и на севере, и на юге региона (у населенных пунктов Россонь, Островец, Новолукомль, южнее Сенно). Здесь наиболее широко представлены озерно-ледниковые, в меньшей степени – моренные, болотные, флювиогляциальные отложения, реже – краевые ледниковые образования. На отдельных участках (иногда значительных) отмечается неблагоприятное проявление современных геологических процессов, геохимических аномалий. Для реабилитации территорий необходимы специальные проекты, расходование значительных средств, участие в этих работах отдельных ведомств и областных организаций.

Площади с пониженной степенью комфорта для населения (23–30 баллов) выделены на трех относительно небольших участках в районе Верхнедвинска, Полоцка и Ореховска – Осинторфа. На них приходится всего 5,5 % изученной территории. С поверхности распространены озерно-ледниковые, болотные, реже – небольшие острова флювиогляциальных и моренных отложений. Пониженную степень неблагоприятности для населения имеют также зоны наиболее протяженных топо- и космолинеаментов. Для территорий, входящих в состав рассматриваемого таксона, характерно активное проявление современной геодинамики, формирование геохимических, реже – геофизических аномалий, значительная техногенная нагрузка на земную поверхность, достигающая в районе Полоцка 130 тыс. т/км². Для реабилитации территорий необходимы решения государственных органов страны и существенные материальные затраты.

Территории с низкой степенью комфорта для жизнедеятельности населения (30–35 баллов) занимают всего 2 % площади региона. Они выделены в районе Витебска – Рубы. На этой территории активно проявляется сложный комплекс современных геологических процессов, сформировались разнообразные геохимические аномалии, техногенная нагрузка на земную поверхность превышает 200 тыс. м³ грунтов на 1 км². Среди покровных отложений преобладают озерно-ледниковые, моренные и флювиогляциальные комплексы. Для снижения неблагоприятных последствий геодинамики необходимы крупные материальные затраты и решения государственных органов страны.

Наименее комфортные условия для человека (более 35 баллов) складываются в зонах активных разломов, площадь которых примерно оценивается в 1,5 % территории региона. В пределах этих зон проявляются неравномерные вертикальные и горизонтальные движения земной коры, сформировались геофизические и геохимические аномалии покровных отложений, почвенного воздуха и подземных вод, возрастает количество разного рода аварий, повышается заболеваемость населения и т. д. Для снижения неблагоприятных последствий проявления геодинамики в зонах весьма низкой степени комфорта для населения должна быть разработана государственная программа, предусматривающая усиление медицинского контроля за состоянием здоровья населения, ограничение нового строительства в этих зонах, возможное перепрофилирование используемых зданий и сооружений, применение комплекса защитных мер по укреплению инженерных сооружений (прежде всего трубопроводов), выделение этих зон на местности специальными знаками.

Выводы

1. Проявление современных геологических процессов на территории Белорусского Поозерья может вызывать деформации природных и природно-техногенных комплексов, формировать геохимические и геофизические аномалии, ухудшать инженерно-геологические свойства грунтов, влиять на здоровье населения, наносить определенный материальный ущерб, т. е. заметно влиять на геэкологическую обстановку в регионе.

2. Суммарный дестабилизирующий эффект проявления геологических процессов оценен в баллах, величины которых варьируют в основном от 4–8 (сейсмичность, овражная и плоскостная эрозия, гравитационные процессы, подтопление, заболачивание, карст, геохимические аномалии) до 11–14 (процессы в зонах топо- и космолинеаментов, заболоченность, наиболее значительные радионовые аномалии в почвенном воздухе, повышенные техногенные нагрузки), а наиболее неблагоприятное воздействие (21 балл) на среду обитания населения оказывают процессы в зонах активных разломов.

3. Площади проявления отдельных геодинамических процессов распределены неравномерно, нередко они полностью или частично перекрывают друг друга, усиливая тем самым общий эффект воздействия на геэкологическую обстановку. Все это позволило провести дифференциацию изученной территории. Выделены следующие шесть градаций: с высокой (до 10 баллов), относительно высокой (11–15), умеренной (16–23), пониженной (23–30), низкой (30–35) и весьма низкой степенями комфорта геэкологических обстановок для населения.

Список использованных источников

1. Современная динамика рельефа Белоруссии / под ред. Б. Н. Гурского, А. В. Матвеева. – Минск, 1991. – 102 с.
2. Матвеев, А. В. Последствия проявления опасных геологических процессов на территории Беларуси / А. В. Матвеев, Л. А. Нечипоренко // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2016. – Вып. 29. – С. 30–37.
3. Инженерная геология Беларуси. / А. Н. Галкин [и др.]. – Витебск, 2017. – Ч. 2 : Инженерная геодинамика Беларуси. – 452 с.
4. Гарецкий, Р. Г. Основные проблемы экологической геологии / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Карапаев // Геоэкология. – 1995. – № 1. – С. 28–35.
5. Калинин, М. Ю. Чрезвычайные ситуации и их последствия: мониторинг, оценка, прогноз и предупреждение / М. Ю. Калинин, А. А. Волчек, П. В. Шведовский. – Минск, 2010. – 275 с.
6. Матвеев, А. В. Рельеф Белоруссии / А. В. Матвеев, Б. Н. Гурский, Р. И. Левицкая. – Минск, 1988. – 320 с.
7. Матвеев, А. В. Современные геологические процессы на территории Белорусского Поозерья / А. В. Матвеев, В. П. Зерницкая // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 163–170.
8. Матвеев, А. В. Геологические критерии оценки качества среды для обитания населения на территории западной части Белорусского Полесья / А. В. Матвеев, В. П. Зерницкая // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. 5, Хімія. Біялогія. Навукі аб Зямлі. – 2019. – № 1. – С. 92–98.
9. Матвеев, А. В. Районирование территории западной части Белорусского Полесья по степени комфортности геологической среды для населения / А. В. Матвеев // Природопользование. – 2019. – № 1. – С. 154–162.

References

1. Sovremennaya dinamika rel'efa Belorussii. Pod red. B. N. Gurskogo, A. V. Matveeva [Modern dynamics of the relief of Belarus; edited by B. N. Gursky, A. V. Matveyev]. Minsk, 1991, 102 p. (in Russian)
2. Matveev A. V., Nechiporenko L. A. Posledstviya proyavleniya opasnyh geologicheskikh processov na territorii Belarusi [Consequences of the manifestation of hazardous geological processes in the territory of Belarus]. Prirodopol'zovanie = Nature Management, 2016, vol. 29, pp. 30–37. (in Russian)
3. Galkin A. N. [i dr.]. Inzhenernaya geologiya Belarusi. Chast' 2. Inzhenernaya geodinamika Belarusi [Engineering geology of Belarus]. Vitebsk, 2017, Part 2: Engineering geodynamics of Belarus, 452 p. (in Russian)
4. Gareckij R. G., Karataev G. I. Osnovnye problemy ekologicheskoye geologii [The main problems of environmental geology]. Geoekologiya = Geoecology, 1995, no. 1, pp. 28–35. (in Russian)
5. Kalinin M. Yu., Volchek A. A., Shvedovskij P. V. Chrezvychajnye situacii i ih posledstviya: monitoring, ocenka, prognoz i preduprezhdenie [Emergencies and their consequences: monitoring, assessment, forecast and warning]. Minsk, 2010, 275 p. (in Russian)
6. Matveev A. V., Gurskij B. N., Levickaya R. I. Rel'ef Belorussii [Relief of Belarus]. Minsk, 1988, 320 p. (in Russian)
7. Matveev A. V., Zernickaya V. P. Sovremennye geologicheskie processy na territorii Belorusskogo Poozer'ya [Modern geological processes in the territory of the Belarusian Poozer'e]. Prirodopol'zovanie = Nature Management, 2019, no. 1, pp. 163–170. (in Russian)
8. Matveev A. V., Zernickaya V. P. Geologicheskie kriterii ocenki kachestva sredy dlya obitaniya naseleniya na territorii zapadnoj chasti Belorusskogo Poles'ya [Geological criteria for assessing the quality of the environment for population living in the western part of the Belarusian Polesie]. Vesnik Bresckaga ўniversiteta. Ser. 5. Himiya. Biyalogija. Navuki ab Zyamli = Brest University Gazette. Ser. 5. Chemistry. Biology. Earth sciences, 2019, no. 1, pp. 92–98. (in Russian)
9. Matveev A. V. Rajonirovanie territorii zapadnoj chasti Belorusskogo Poles'ya po stepeni komfortnosti geologicheskoy sredy dlya naseleniya [Zoning of the territory of the western part of the Belarusian Polesie according to the degree of comfort of the geological environment for the population]. Prirodopol'zovanie = Nature Management, 2019, no. 1, pp. 154–162. (in Russian)

Информация об авторах

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

Зерницкая Валентина Петровна – канд. геогр. наук, вед. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Беларусь). E-mail: valzern@gmail.com

Information about the authors

Aleksey Matveyev – Academician, D. Sc. (Geology and Mineralogy), Professor, Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: matveyev@ecology.basnet.by

Valentina Zernitskaya – Ph. D. (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: valzern@gmail.com

ПРОЦЕССЫ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ В ПРОМЕРЗАЮЩИХ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Г. П. Бровка, А. А. Мурашко

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В работе приводятся результаты теоретических и экспериментальных исследований, показывающие решающую роль в преобразовании структуры промерзающих горных пород соотношения градиентов температуры, гидростатического давления и концентрации водорастворимых соединений в поровом растворе. В случае отсутствия внешнего воздействия решающая роль в промерзающих горных породах отводится неоднородному температурному полю, в результате которого в зависимости от деформационно-прочностных свойств, исходной структуры и наличия в поровом растворе водорастворимых соединений в промерзающей породе формируются соответствующие градиенты гидростатического давления и концентрации водорастворимых соединений.

В частности, показано, что при промерзании сапропеля с наличием в поровом растворе электролитов подавляется процесс массопереноса в мерзлую зону соответственно увеличению концентрации электролита. Криогенное строение органогенной породы при этом закономерно изменяется и характеризуется преобладанием вертикальных шлиров при вырождении горизонтальной составляющей.

Ключевые слова: горные породы; промерзание; миграция влаги; криогенная структура.

Для цитирования. Бровка Г. П., Мурашко А. А. Процессы структурообразования в промерзающих осадочных горных породах // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 207–215.

PROCESSES OF STRUCTURE FORMATION IN FROZEN SEDIMENTS ROCKS

G. P. Brovka, A. A. Murashko

Institute of Nature Management of the NAS of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. Results on theoretical and experimental research showing a decisive role in the transformation of the structure of freezing rocks, the ratio of temperature gradients, hydrostatic pressure and the concentration of water-soluble compounds in the pore solution are given in the work. Moreover, in cases where there is no external impact on rocks, a crucial role in freezing rocks is by an inhomogeneous temperature field, as the result of which, depending on the deformation-strength properties, an initial structure and the presence of water-soluble compounds in the pore solution, the corresponding gradients of hydrostatic pressure and concentration of water soluble compounds.

In particular, it was shown that during the freezing of sapropel with the presence of electrolytes in the pore solution, the process of mass transfer to the frozen zone is suppressed, corresponding to an increase in an electrolyte concentration. The cryogenic structure of the organogenic environment in this case naturally changes and is characterized by the predominance of vertical schlieres during the degeneration of the horizontal component.

Key words: rocks; freezing; moisture migration; cryogenic structure.

For citation. Brovka G. P., Murashko A. A. Processes of structure formation in frozen sediments rocks. *Nature Management*, 2019, no 2, pp. 207–215.

При математическом описании процессов миграции влаги в промерзающих горных породах авторы многочисленных работ исходят из того, что основной причиной миграции влаги является градиент количества незамерзшей воды, обусловливаемый зависимостью количества незамерзшей воды от температуры и градиентом температуры в промерзающей зоне. Такой подход может быть правомерен только при отсутствии в промерзающей породе напряженно-деформированного состояния и растворенных солей.

Для математического описания процессов влагопереноса в промерзающих горных породах, сопровождаемого напряженно-деформированным состоянием и преобразованием структуры, необходимо использовать более универсальный подход, основанный на термодинамике необратимых процессов и физико-химии поверхностных явлений.

Согласно работам Б. В. Дерягина и Н. В. Чураева, основными движущими силами влагопереноса по незамерзающим прослойкам воды являются градиенты температуры и гидростатического давления [1]. На основании термодинамики необратимых процессов ими была получена формула, выражающая термокристаллизационный поток влаги в мерзлой породе:

$$q_b = -\alpha_w \rho_b \left(\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\rho_n L}{T} \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (1)$$

где α_w – коэффициент гидродинамической проводимости незамерзающих прослоек; ρ_b и ρ_n – плотность воды и льда соответственно; P и T – гидростатическое давление и температура соответственно; L – удельная теплота фазового перехода вода–лед.

Формула (1), как показано в экспериментальных работах [2, 3], при отсутствии водорастворимых соединений в мерзлой породе удовлетворительно описывает процессы влагопереноса при отрицательных температурах. В то же время в работе [3] показано, что наличие водорастворимых соединений в мерзлой породе снижает интенсивность миграции и давление пучения в той мере, в какой эти соединения понижают осмотический потенциал влаги, независимо от природы этих соединений. Поэтому для описания процессов переноса влаги и водорастворимых соединений в мерзлых породах, возникла необходимость получить соответствующую систему уравнений массопереноса.

В работе [4] предложено при малых концентрациях водорастворимых соединений в поровом растворе потоки влаги q_b и водорастворимых соединений q_{c_i} в мерзлой породе выражать с помощью феноменологических уравнений типа:

$$q_b = -K_{\phi M} \left[\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\rho_n L}{T} \frac{\partial T}{\partial x} + \rho_n R T \sum_i v_i \frac{M_b}{M_{c_i}} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{C_{M_i}}{W_h} \right) \right] + \sum_i \frac{\rho_b}{\rho_{c_i}} \rho_{ck} W_h \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{C_{M_i}}{W_h} \right), \quad (2)$$

$$q_{c_i} = -\frac{K_{\phi M} C_{M_i}}{W_h} \left[\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\rho_n L}{T} \frac{\partial T}{\partial x} + \rho_n R T \sum_i v_i \frac{M_b}{M_{c_i}} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{C_{M_i}}{W_h} \right) \right] - D_{np} \rho_{ck} W_h \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{C_{M_i}}{W_h} \right). \quad (3)$$

где C_{M_i} – концентрация i -го водорастворимого соединения, в расчете на единицу массы скелета породы; R – универсальная газовая постоянная; M_{c_i} и M_b – молекулярные массы водорастворимого соединения и воды соответственно; v_i – число ионов, на которые диссоциирует молекула водорастворимого соединения; ρ_n , ρ_{c_i} , ρ_{ck} – плотности льда, водорастворимого соединения, скелета породы соответственно; W_h – количество незамерзшей воды в породе; $K_{\phi M}$ – коэффициент фильтрации мерзлой породы; D_{np} – коэффициент диффузии водорастворимого соединения в поровом растворе.

Структура уравнения (2) свидетельствует о том, что плотность потока водорастворимых соединений определяется двумя различными механизмами: конвективным и диффузионным. Первый механизм соответствует переносу водорастворимых соединений вместе с потоком жидкости по незамерзающим прослойкам воды, второй механизм – молекулярной диффузии водорастворимых соединений по этим же прослойкам. Движущими силами конвективного переноса являются градиент гидростатического давления, градиент температуры и градиент весовой концентрации водорастворимых соединений. При этом следует отметить, что при наличии водорастворимых соединений различного вида, конвективная составляющая для каждого соединения будет определяться суммой градиентов концентраций всех соединений с учетом их диссоциации. С учетом того, что при малых концентрациях водорастворимых соединений процессы конвективного переноса будут преобладать над диффузионным переносом; на данной стадии исследования диффузионным переносом можно пренебречь.

Следует отметить, что уравнения (2) и (3) выведены при некоторых упрощениях, предполагающих аддитивность изменения термодинамических характеристик пленок незамерзшей воды от их толщины и наличия в них водорастворимых соединений, соответствующих свойствам идеальных растворов. В то же время это позволяет в первом приближении выявить характер процессов влагопереноса, формирования напряженно-деформированного состояния и преобразования структуры в промерзающих горных породах.

Предполагая хрупкое разрушение мерзлого грунта в зоне, где гидростатическое давление превышает прочность структурного сцепления, картину миграции влаги и трещинообразования, можно качественно описать следующим образом.

В определенный момент времени τ_1 распределение гидростатического давления в мерзлой зоне будет соответствовать кривой 1 на рис. 1. Для этого распределения характерно наличие максимума гидростатического давления, равного по величине прочности структурного сцепления грунта. После того как гидростатическое давление превысит прочность структурного сцепления, произойдет трещинообразование, гидростатическое давление в этой точке резко упадет и его распределение будет соответствовать кривой 3. В следующий момент времени τ_2 , когда фронт промерзания сменится на величину Δl и температура в зоне трещинообразования понизится, распределение гидростатического давления будет соответствовать кривой 1', которая аналогична кривой 1. По мере удаления фронта промерзания в зоне льдовыделения будут понижаться температура (кривые 2, 2') и увеличиваться максимум гидростатического давления, пока не достигнут величины прочности структурного сцепления грунта. Таким образом, процесс трещинообразования периодичен, причем расстояние Δl между двумя зонами трещинообразования обратно пропорционально градиенту температуры. При этом распределение гидростатического давления сопряжено с градиентом температуры в мерзлой зоне и, следовательно, размер всех структурных элементов будет обратно пропорционален градиенту температуры, т. е. при автомодельности температурного поля соблюдается автомодельность влагопереноса и структурообразования.

Изложенные теоретические предпосылки позволяют объяснить закономерности криогенного структурообразования в промерзающих горных породах, выявленные при лабораторном моделировании этих процессов.

Лабораторное моделирование процессов промерзания и криогенного структурообразования проводилось на установке для комплексного исследования характеристик тепломассопереноса при промерзании грунтов [5]. Данная установка позволяла проводить строго одномерное промерзание грунта с автоматической регулировкой и регистрацией температуры по высоте образца и теплового потока на охлаждаемой поверхности. Моделирование проводилось на образцах высотой 0,3 м и диаметром 0,12 м при различных исходных влагосодержаниях и температурных режимах. Образцы промораживались на глубину ξ до 1/3 высоты образца, что соответствовало моделированию промерзания одномерной полуограниченной среды. После промерзания образцов на указанную глубину они разрезались и в них по зонам определялось влагосодержание методом термостатной сушки. На рис. 2, а представлены типичные кривые распределения влагосодержания и температуры в промерзающем образце. При постоянстве температуры на охлаждаемой поверхности образца и соблюдении условия полуограниченности кривым распределения температуры и влагосодержания для различных моментов времени присущее свойство автомодельности, т. е. они могут быть сведены к одной кривой с помощью обобщенной переменной $(x / \sqrt{\tau})$.

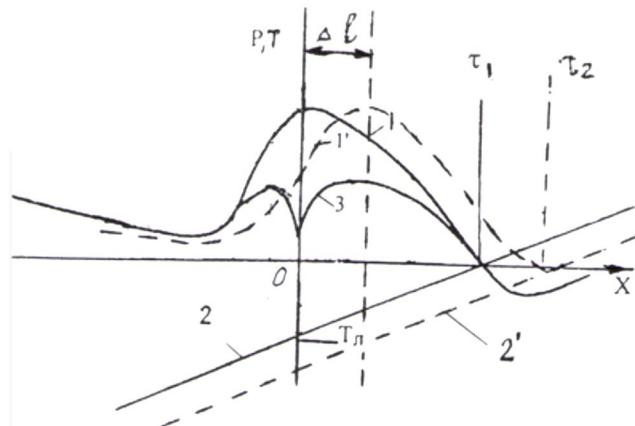


Рис. 1. Распределение гидростатического давления в промерзающем грунте при трещинообразовании:

- 1, 1' – гидростатическое давление перед образованием трещины в момент времени τ_1 и τ_2 соответственно;
- 2, 2' – распределение температуры в момент времени τ_1 и τ_2 соответственно;
- 3 – гидростатическое давление после образования трещины в момент времени τ_1

Fig. 1. Distribution of hydrostatic pressure in freezing soil during cracking:

- 1, 1' – accordingly hydrostatic pressure before cracking at the time of τ_1 and τ_2 ;
- 2, 2' – temperature distribution at the time of τ_1 and τ_2 ,
- 3 – hydrostatic pressure after a crack creation at the time of τ_1

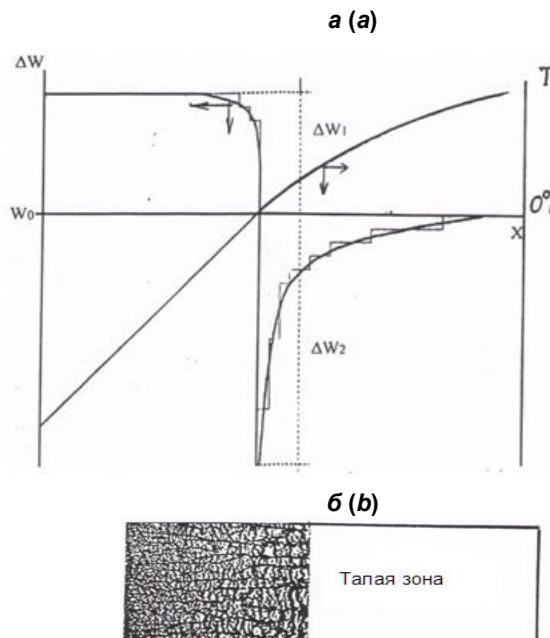


Рис. 2. Распределение влажности и криогенная структура промерзающего органогенного грунта:
а – типичные кривые распределение влажности (W) и температуры (T) в промерзающем органогенном грунте; б – криогенная структура

Fig. 2. Moisture distribution and the cryogenic structure of freezing organogenic ground: a – typical distribution curves of humidity (W) and temperature (T) in freezing organogenic soil; b – cryogenic structure

Наряду с исследованием распределения влагосодержания и температуры в промерзающих образцах методом реплик исследовалось криогенное строение. При этом отработана методика подготовки образцов мерзлых пород для изучения характеристик криогенного строения с использованием системы анализа изображений, разработаны критерии расчета основных структурно-текстурных характеристик мерзлых дисперсных систем при анализе данных метода реплик. Предложен пакет стандартных методов расчета этих характеристик, в значительной степени повышающих достоверность и уменьшающих трудоемкость расчетов, для грунтов, обладающих при промерзании шлировыми криогенными текстурами.

В подготовке образцов использовался метод вакуумной сублимации при низких температурах. С этой целью была создана вакуумная сублимационная установка, рассчитанная на ускоренную подготовку образцов мерзлого грунта при температуре ниже -25°C , что позволило сохранять первоначальную структуру скелета грунта. Метод подготовки материала для структурного анализа заключался в следующем. Мерзлый образец грунта помещался в холодильную камеру, где раскалывался либо распиливался в выбранном направлении (обычно перпендикулярно фронту промерзания). Как правило, производилось несколько параллельных срезов, либо сколов для получения более достоверной картины. С поверхности скола или среза снимались реплики по общепринятой методике [6]. После подготовки исследуемой поверхности образец выдерживался в морозильной камере при температуре $-20\ldots-10^{\circ}\text{C}$ в течение 30–60 мин. Эта операция необходима для сублимации льда из приповерхностного слоя и проявления в микрорельефе образца грунтовой составляющей, что способствует ее закреплению на внутренней поверхности реплики. Подготовленный таким образом мерзлый образец затем покрывался охлажденным до той же температуры раствором полистирола в дихлорэтане при концентрации 5–10 % и выдерживался в морозильной камере до полного испарения растворителя. После высыхания образец оттаивался, пластиковая реплика механически отделялась от его поверхности и промывалась в дистиллированной воде. В процессе промывки поверхность контакта отпечатка со льдом приобретала вид прозрачной пленки, а на участках контакта реплики с грунтовой составляющей сохранялись непрозрачные отпечатки агрегатов органоминерального скелета. Полученная таким образом реплика в конечном итоге несла информацию о взаимном распределении льда и грунтовых отдельностей, выраженную в чередовании прозрачных и темных участков на ее поверхности. После высушивания такой отпечаток с поверхности образца был пригожден как для исследования криогенного строения методами оптической и электронной микроскопии, так и для получения высококачественных фотоснимков макро- и микротекстуры для количественной обработки на анализаторе изображений.

Использованная методика позволяет получить изображение криогенного строения мерзлой породы с минимальными искажениями и максимальным контрастом фаз даже при значительном увеличении исходного образца. При этом ледяная составляющая на фотографии имеет вид темного поля,

грунтовая составляющая – светлого, что гарантирует однозначное распознавание объекта и фона системой анализа изображений по разности уровней серого цвета, обеспечивая высокую достоверность количественного анализа шлировых криогенных текстур в мерзлых дисперсных грунтах.

Изучение особенностей микростроения грунтов производилось методом оптической и электронной растровой микроскопии при увеличении от 20 до 5000 раз. Изучались такие элементы микростроения, как микроструктура и микротекстура органоминерального скелета и льда. Исследовались форма, размеры и взаимное расположение минеральных зерен, частиц и агрегатов, льда-цемента и льда включений, воздушных пустот и органических примесей. Параметры размеров, формы и ориентировки элементов микростроения подвергались количественной оценке методом анализа изображений. Методика анализа заключалась в выборе участка опробования, преобразования изображения в наиболее удобную для расчета форму и вычисление расчетных параметров. Применение метода анализа изображений позволило произвести расчет ряда структурно-текстурных параметров, описывающих форму, размеры, ориентацию в пространстве, взаимное расположение и распределение ледяной и грунтовой составляющих. Рассчитывались следующие объект-специфичные параметры: площадь объекта, периметр объекта, максимальный и минимальный диаметр грунтовых агрегатов, диаметр эквивалентного объекту по площади круга, проекции объекта на оси координат, угол наклона относительно горизонта, коэффициент формы и коэффициент эллиптичности.

В целом для исследуемых объектов решались две задачи: задача обработки исходного изображения и задача его распознавания. При этом задача обработки предусматривала систему трансформаций исходного объекта с получением на выходе изображения пригодного для решения задачи распознавания и отнесения его к определенному классу. В процессе обработки и распознавания изображений осуществлялось последовательное выполнение ряда функций: а) ввода изображения; б) масштабирования объекта; в) дискретизации его по уровням серого цвета на две составляющие (объект и фон); г) приведение изображения в цифровую форму; д) вычисление выбранных параметров. Ввод исходного изображения объекта производился через цифровую камеру. Масштабирование осуществлялось интерактивным методом путем сопоставления реального расстояния на фотоснимке с количеством единиц линейного калибра, при условии учета масштаба снимка, увеличения объектива и переводных коэффициентов сопоставления с матрицей. Дискретизация исходного изображения осуществлялась как преобразование непрерывного изображения в дискретную форму и включала две процедуры: выборку, которая сводится к выбору дискретной сетки для представления изображения, и квантование, заключающееся в отображении значений яркости и цвета в целые числа. При этом осуществлялось первичное разделение непрерывного серого образа с использованием функции перераспределения уровней исходной серой шкалы с фильтрацией промежуточных полутоновых переходов и дискретизация по двум пороговым уровням отфильтрованного изображения в бинарный черно-белый вариант. Элемент дискретизации определялся как компактное выпуклое подмножество, по которому вычислялось значение выборного пикселя. Образец в процессе дискретизации разделялся на две составляющие: объект (грунтовые агрегаты) и фон (поле льдистости).

Для приведения изображения в цифровую форму сплошная черно-белая матрица с плавными границами контраста фаз подразделяется на сумму площадных дискретных объектов с пересечением участков граней под прямым углом и размером грани в один элемент матрицы. Таким образом, создается бинарная модель мерзлой грунтовой системы, пригодная для расчета параметров криогенного строения.

Измерения структурно-текстурных составляющих осуществляется путем выбора площадных и объект-ориентированных параметров, идентификации объектов по критерию распознавания замкнутого пространства с одновременным расчетом базового поля. После идентификации производится непосредственное измерение предварительно заданных параметров посредством поэлементного сканирования по матрице. Полученная в результате всех выполненных операций информация представляется графически, либо в виде относительных и суммарных гистограмм, вычисляемых как оценка плотности вероятности первого порядка по одному изображению, либо в виде отдельных перечней.

Кроме расчета перечисленных выше структурно-текстурных параметров мерзлых грунтов использование метода анализа изображений позволило произвести их классификацию и обработку статистических данных, полученных в ходе измерений.

Классификация базовых параметров производилась в линейном либо логарифмическом виде путем вычисления оценки плотности вероятности первого порядка (встречаемости) измеренных значений заданного параметра, с распечаткой конечного результата в виде гистограмм, дискретных точечных графиков либо отдельных перечней.

В результате применения метода анализа изображений по сериям фотоснимков удалось оценить основные параметры криогенного строения мерзлых минеральных и органогенных грунтов: морфологию и размеры структурных составляющих, их ориентировку в пространстве и взаимное распределение, а также льдистость образцов и влажность органоминеральной компоненты

криогенной текстуры. Полученные зависимости позволили рассчитать объемную влажность и льдистость органо-минеральной составляющей мерзлого грунта, а затем на основе полученных данных осуществить комплексный анализ процессов структурообразования в зависимости от параметров тепло- и массопереноса.

Проведенными исследованиями установлено, что перестройка структуры промерзающих органогенных грунтов в отличие от минеральных происходит в основном в зоне отрицательных температур. При этом органический компонент играет основную роль в формировании криогенного строения. В то же время размеры и взаимное распределение ледяной и органоминеральной составляющих мерзлой породы определяются условиями промерзания. Установлено, что формирование криогенного строения влагонасыщенных органогенных сред определяется взаимодействием двух механизмов массопереноса: миграции влаги из талой зоны с последующим вымерзанием в виде прослоев сегрегационного льда (миграционно-сегрегационный механизм) и локального перераспределения влаги внутри промерзающей и мерзлой зон в процессе отжатия связанной воды при дегидратации органоминерального скелета (коагуляционно-сегрегационный механизм).

Динамика изменения криогенного строения определяется температурным режимом промораживания, исходной влажностью грунта и концентрацией порового раствора. Характерно, что размеры структурных элементов при сохранении их относительной величины, как видно из рис. 2, б (черное поле соответствует ледяному компоненту), увеличиваются по мере удаления от охлаждаемой поверхности, что связано с уменьшением величины градиента температуры в момент промерзания данной зоны. Предложение о том, что решающее значение для размера структурных элементов принадлежит градиенту температуры в момент промерзания, подтверждается сопоставлением криогенного строения образцов, промороженных с различными температурами на охлаждаемой поверхности, но при одинаковом градиенте в момент промерзания. При этом установлено, что образцы имеют очень близкое криогенное строение при соответствии градиентов температуры в момент промерзания. Такая взаимосвязь криогенного строения с градиентом температуры согласуется с приведенным выше теоретическим анализом.

Исследование влияния добавок электролитов NaOH и NaCl на преобразование структуры проведено на образцах карбонатного сапропеля с исходным влагосодержанием 1,6 кг/кг. Концентрация электролитов в поровом растворе образцов составляла 0,5, 1,0 и 2,0 %. Структурно-текстурные особенности промерзшего сапропеля изучались методом реплик путем сравнения криогенного строения исходных образцов и образцов засоленного грунта в зависимости от концентрации электролита.

Проведенными исследованиями установлено, что изменение концентрации электролита в поровой влаге вызывает, наряду с изменением параметров массопереноса, существенные преобразования криогенного строения исследованных материалов. Так, промораживание образцов карбонатного сапропеля при концентрации NaCl 0,5 % (рис. 3, а) привело к образованию в мерзлой зоне сетчатой криогенной текстуры, характеризующейся чередованием вертикальных и горизонтальных прослоев льда, расстояние между которыми увеличивается соответственно увеличению мощности мерзлой зоны и падению градиента температуры в ходе промораживания. Развитие горизонтальных прослоев льда указывает на наличие миграционно-сегрегационного механизма структурообразования за счет вымерзания избыточной влаги, поступающей в ходе промерзания из талой зоны.

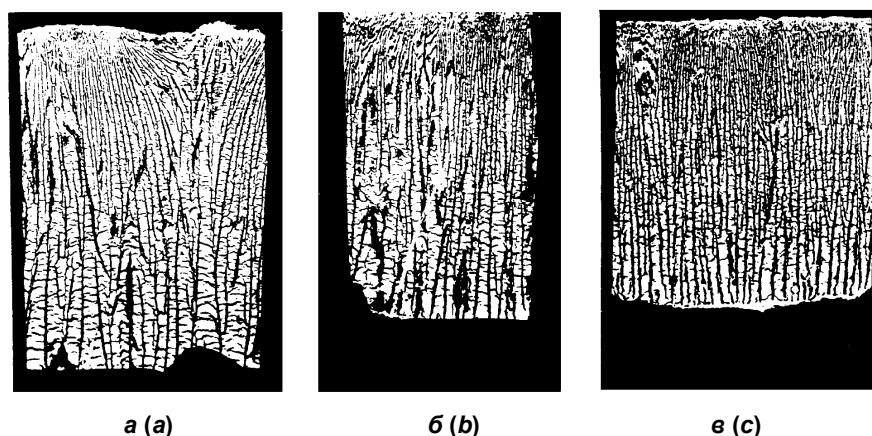


Рис. 3. Криогенное строение образцов карбонатного сапропеля с различным содержанием NaCl в поровом растворе: а – С = 0,5 %; б – С = 1,0 %; в – С = 2,0 %

Fig. 3. Cryogenic structure of carbon sapropel samples with different content of NaCl in a pore solution:
a – С = 0,5 %; b – С = 1,0 %; c – С = 2,0 %

Увеличение концентрации NaCl до 1,0 % сопровождается уменьшением доли горизонтального шлировыделения (рис. 3, б) при промерзании, а также увеличением частоты и мощности вертикальных шлиров льда. Криогенная текстура имеет форму, переходную от сетчатой и неполно-сетчатой, которая характеризуется преимущественным вертикальным шлировыделением при неполном развитии горизонтальных прослоев. Такое изменение криогенной текстуры указывает на подавление миграционного переноса влаги в мерзлую зону и интенсификацию криогенной дифференциации за счет коагуляционно-сегрегационного механизма.

Промораживание образцов сапропеля при концентрации в поровом растворе NaCl, доведенной до 2,0 % (рис. 3, в), показало еще более существенное подавление миграции влаги в мерзлую зону, фиксирующееся значительным преобладанием вертикальной составляющей в криогенном строении. Нарушается периодичность образования миграционных прослоев льда, значительное уменьшение их мощности и протяженности. Вырождение горизонтальных прослоев указывает на значительное преобладание локальной миграции влаги и подавление миграции из талой зоны.

В целом те же тенденции характерны и для промерзания образцов карбонатного сапропеля при добавлении в поровой раствор щелочи NaOH (рис. 4, а). Однако факторы криогенного строения, указывающие на подавление миграции с увеличением концентрации электролита, в этом случае проявляется еще более интенсивно. При концентрации в поровом растворе NaOH, равной 0,5 %, криогенное строение образца характеризуется сетчатой криогенной структурой (рис. 4, б) с преимущественным развитием вертикальной составляющей в кровле образца и постепенным переходом к преобладанию миграционных прослоев в подошве мерзлой зоны. Размеры органоминеральных агрегатов и шлиров льда при этом увеличиваются по направлению к фронту промерзания.

Увеличение концентрации электролита в поровом растворе до 1,0 % (рис. 4, в) резко изменяет соотношение структурных элементов криогенного строения. Горизонтальные прослои в значительной степени вырождены и присутствуют лишь спорадически, что указывает на значительное подавление массообмена между талой и мерзлой зонами. Криогенная текстура характеризуется при этом преимущественным развитием коагуляционно-сегрегационных прослоев льда вертикального и субвертикального простирания. Миграционно-сегрегационное структурообразование значительно подавлено.

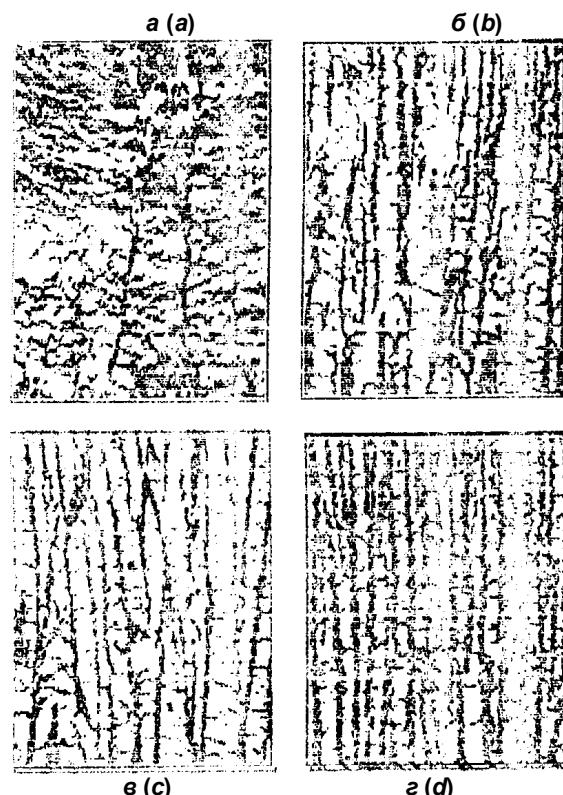


Рис. 4. Криогенное строение карбонатного сапропеля модифицированного добавлением в поровый раствор NaOH: а – исходный образец; б – С = 0,5 %; в – С = 1,0 %; г – С = 2,0 %

Fig. 4. Cryogenic structure of carbon sapropel modified by the addition of NaOH to a pore solution
a – initial sample; b – С = 0,5 %; c – С = 1,0 %; d – С = 2,0 %

При концентрации NaOH до 2,0 % приводит почти к полному подавлению миграции из талой зоны, что отражается на криогенном строении мерзлой среды в виде практического отсутствия горизонтальных прослоев льда (рис. 4, г) и перехода криогенной текстуры от неполносетчатой к вертикально-шлицевой. Вертикальные и субвертикальные прослои льда увеличивают свою мощность по мере падения градиента температуры в ходе промерзания. Отсутствие горизонтальной составляющей криогенной текстуры указывает на то, что криогенное строение образца формируется за счет ортотропного роста кристаллов льда при локальной миграции влаги в пределах промерзающей и мерзлой зон.

Таким образом, исследования процессов промерзания сапропеля с добавками в поровый раствор электролитов показали, что увеличение концентрации соли, либо щелочи в поровой влаге подавляет процесс массопереноса в мерзлую зону соответственно увеличению концентрации электролита. Криогенное строение органогенной среды при этом закономерно изменяется и характеризуется преобладанием вертикальных шлицев при вырождении горизонтальной составляющей. Особенности криогенного строения показывают, что присутствие в поровом растворе щелочи подавляет миграционно-сегрегационное текстурообразование в более значительной степени, чем присутствие соли. В целом для процесса структурообразования в сапропеле в присутствии электролитов характерен постепенный переход от миграционно-сегрегационного к коагуляционно-сегрегационному механизму по мере повышения концентрации порового раствора, а при достаточно больших концентрациях щелочи возможно полное подавление миграции влаги из талой зоны в мерзлую.

В заключение следует отметить, что приведенные теоретические и экспериментальные исследования показывают решающую роль в преобразовании структуры промерзающих горных пород соотношения градиентов температуры, гидростатического давления и концентрации водорастворимых соединений в поровом растворе. В случаях отсутствия внешнего воздействия на горные породы решающую роль в промерзающих горных породах отводится неоднородному температурному полю, в результате которого в зависимости от деформационно-прочностных свойств, исходной структуры и наличия в поровом растворе водорастворимых соединений в промерзающей породе формируются соответствующие градиенты гидростатического давления и концентрации водорастворимых соединений. Это может быть положено в основу прогноза и оптимизации параметров процессов преобразования структуры в промерзающих горных породах методами аналитического и численного моделирования.

Список использованных источников

1. Дерягин, Б. В. Течение незамерзающих прослоек воды и морозное разрушение пористых тел / Б. В. Дерягин, Н. В. Чураев // Коллоидный журнал. – 1980. – Т. 42, № 5. – С. 842–852.
2. К вопросу о характеристиках массопереноса при промерзании торфа / Г. П. Бровка, И. В. Дедюля, И. И. Лиштван, Н. В. Чураев // Криология почв : сб. науч. тр. Всесоюз. конф. – Пущино, 1991. – С. 51–56.
3. Бровка, Г. П. Процессы переноса и пучения в промерзающих породах при наличии водорастворимых соединений / Г. П. Бровка, И. В. Дедюля // Коллоидный журнал. – Т. 58, № 5. – С. 586–589.
4. Бровка, Г. П. Преобразование структуры, тепломассоперенос и фазовые переходы в органогенных дисперсных системах : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Г. П. Бровка. – Минск, 2001. – 42 с.
5. Бровка, Г. П. Перераспределение влаги и криогенное структурообразование в промерзающем сапропеле / Г. П. Бровка, А. А. Мурашко // Криология почв : сб. науч. тр. Всесоюз. конф. – Пущино, 1991. – С. 67–74.
6. Лабораторные методы исследования мерзлых пород. – М. : МГУ, 1985.

References

1. Deryagin B. V., Churaev N. V. *Techenie nezamerzayushchih prosloek vody i moroznoe razrushenie poristyh tel* [The course of the non-freezing layers of water and the frosty destruction of porous bodies]. Coll. Mag., 1980, V. 42, no 5, pp. 842–852. (in Russian)
2. Brovka G. P., Dedyulya I. V., Lishvan I. I., Churaev N. V. *K voprosu o harakteristikah massoperenosa pri promerzaniyu torfa* [To the question of mass transfer characteristics during peat freezing]. Kriologiya pochv. Sb. nauch. tr. Vsesoyuz. konf [Proc. Int. conf. 'Soil cryology']. Pushchino, 1991, pp. 51–56. (in Russian)
3. Brovka G. P., Dedyulya I. V. *Processy perenosa i pucheniya v promerzayushchih porodah pri nalichii vorodastvorimyh soedinenij* [Processes of transition and obtaining in freezing rocks in the presence of water-soluble compounds]. Coll. Mag., V. 58, no 5, pp. 586–589. (in Russian)
4. Brovka G. P. *Preobrazovanie struktury, teplomassoperenos i fazovye perekhody v organogennyh dispersnyh sistemah*. Avtoref. diss. dokt. techn. nauk [Structural transformation, heat and mass transfer and phase transitions in organogenic disperse systems. Dr. tech. sci. diss.]. Minsk, 2001, 42 p. (in Russian)

5. Brovka G. P., Murashko A. A. *Pereraspredelenie vлаги и криогенное структурообразование в про-мерзяющем сапропеле* [Moisture redistribution and cryogenic structure formation in freezing sapropel]. *Kriologiya pochv. Sb. nauch. tr. Vsesoyuz. konf* [Proc. Int. conf. "Soil Cryology"]. Pushchino, 1991, pp.67–74. (in Russian)
6. *Laboratornye metody issledovaniya merzlyh porod* [Laboratory methods of freezing rocks determination]. Moscow, MSU Publ., 1985. (in Russian)

Информация об авторах

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

Мурашко Андрей Анатольевич – канд. геол.-мин. наук, ст. науч. сотрудник, Институт природопользования НАН Беларусь (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь). E-mail: amurbmw@tut.by

Information about the authors

Gennadiy P. Brovka – D. Sc. (Technical), Ass. Prof., Head of Lab. of Physical-Chemical Mechanics of Natural Disperse Systems, Institute of 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

Andrey A. Murashko – Ph. D. (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: amurbmw@tut.by

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОИСКОВ ПОСЕЛЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА МЕЗО-НЕОЛИТИЧЕСКОГО ВРЕМЕНИ НА ОЗЕРНО-БОЛОТНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Б. В. Курзо¹, М. Г. Жилин², И. Н. Езепенко³

¹Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь;

²Институт археологии РАН, Москва, Россия;

³Институт истории НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. На примере известных торфяниковых мезо-неолитических стоянок древнего человека проанализированы особенности их пространственно-временной приуроченности, выявлены геологогеоморфологические предпосылки и критерии для поиска новых поселений данного типа. В районах с развитой гидрографической сетью на водосборах озер Медзозол, Межужол, Палик и рек Поня и Цна выделены площади, перспективные для поиска новых поселений данного типа. На обнаруженной в 2018 г. торфяниковой стоянке предположительно мезо-неолитического времени в 370,0 м на юг от д. Небышино проведены раскопки, в результате которых обнаружены кремневые изделия, фрагменты керамики, деревянные, костяные и роговые орудия и начаты работы по реконструкции природного окружения с помощью современных методов анализа.

Ключевые слова: торфяные месторождения; озера; стоянки человека; мезо-неолитическое время; геоморфология; критерии для поисков.

Для цитирования. Курзо Б. В., Жилин М. Г., Езепенко И. Н. Геоморфологические предпосылки поисков поселений человека мезо-неолитического времени на озерно-болотных комплексах // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 216–230.

GEOLOGICAL AND GEOMORPHOLOGICAL BACKGROUND OF SEARCHING FOR HUMAN HABITATIONS OF MESO-NEOLITHIC TIME IN LAKE-SWAMP COMPLEXES

B. V. Kurzo¹, M. G. Zhilin², I. N. Ezepenko³

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

²Institute of Archeology of the RAS, Moscow, Russia;

³Institute of History of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Abstract. On the example of the well-known peat bogs of the Meso-Neolithic sites of an ancient man, the features of their spatial and temporal confinement are analyzed, geological and geomorphological prerequisites and criteria for searching for new settlements of this type are identified. In areas with a developed hydrographic network on the catchments of Medzozol, Mezhuzhol, Palik lakes and the Ponja and Tsna rivers, areas have been identified that are promising for the search for new settlements of this type. Excavations were carried out at the peat bog in the supposedly Meso-Neolithic period 370.0 m south of Nebyshino village, discovered in 2018; flint items, ceramic fragments, wooden, bone and horn tools were discovered and reconstruction of the natural environment with human interaction began using modern analysis methods.

Key words: peat deposits; lakes; human sites; meso-neolithic time; geomorphology; search criteria.

For citation. Kurzo B. V., Zhilin M. G., Ezepenko I. N. Geological and geomorphological background of searching for human habitations of meso-neolithic time in lake-swamp complexes. *Nature Management*, 2019, no 2, pp. 216–230.

Введение. В последнее десятилетие в Республике Беларусь достаточно активно изучаются торфяниковые стоянки мезолита–неолита. Основными направлениями исследований по данной проблематике являются следующие.

1. Точное определение датировок памятников и культур на основе серий радиоуглеродных дат, полученных как по разным артефактам из органических материалов (кость, рог, дерево, кора и т. п.), так и по вмещающим и разделяющим культурные слои отложениям (торф, сапропель, ил). Особо актуально стоит вопрос датировки нагара на керамике и костях человека, поскольку нередко здесь наблюдается резервуарный эффект.

2. Реконструкция природного окружения древних поселений в мезолите–неолите.

3. Выявление реальных особенностей хозяйства древнего населения на основе комплексного

исследования материалов торфяниковых памятников. Изучение разнообразных органических материалов и орудий из них позволяет определить объекты охоты, рыболовства и собирательства, их реальное соотношение и способы добычи, а также сезон обитания стоянок. Важную информацию об образе жизни, диете и болезнях древних людей дает изучение копролитов, которые сохраняются в Северной Евразии только в торфяных залежах.

4. Комплексное исследование материальной культуры мезо-неолитического населения при помощи археологических и естественнонаучных методов, включая изделия из камня, кости, рога, дерева, коры, волокнистых материалов, а для неолита – еще и керамики.

Основными тенденциями и приоритетами развития исследований по данной проблеме в археологической науке в настоящий момент являются мультидисциплинарный подход и максимально возможное использование методов естественных наук.

В пределах Северной Евразии известны однослойные и многослойные торфяниковые памятники, обладающие надежной стратиграфией, культурные слои которых не содержат посторонних примесей. Хорошая сохранность в торфяной залежи органических археологических материалов и изделий из них позволяет широко применять различные методы естественных наук. Хронология таких памятников обоснована внушительными сериями радиоуглеродных дат, полученных по различным материалам. Исследование остатков флоры и фауны на микро- и макроуровне позволяет надежно реконструировать изменения их природного окружения в раннем и среднем голоцене. Эти данные, наряду с комплексным исследованием всего набора выявленных орудий, а не только каменных изделий (и керамики для неолита), позволяют делать обоснованные выводы о культурной принадлежности, связях, хозяйстве, образе жизни и адаптации древнего населения. В силу этого именно материалы торфяниковых памятников являются опорными для изучения мезолита–неолита.

Цель и задачи. Цель исследований – разработать критерии, осуществить поиск и впоследствии изучить торфяниковые памятники мезолита–неолита Верхнего Поднепровья Беларуси и смежных территорий.

На современном этапе первостепенной задачей являются поиск и раскопки новых стоянок, в частности на территории торфяных месторождений в пределах Верхнеберезинской равнины, обработка полученных материалов на уровне современной методики мультидисциплинарного анализа. Кроме этого, одними из приоритетных задач представляются сопоставление результатов исследований торфяниковых памятников Верхнего Поднепровья и Верхнего Поволжья и выявление как общих закономерностей их развития в мезолите–неолите соседних регионов, так и специфических черт развития природной обстановки и местных культур в раннем и среднем голоцене.

Объекты и методы. Объектами исследования служили торфяные месторождения: Цна (Ганцевичское) в среднем течении р. Цны; в районе озер Медзозол, Межужол, Палик; в пойме р. Пони, – расположенные в пределах Верхнеберезинской водно-ледниковой равнины. Осуществлялся анализ геоморфологических и архивных геологических данных заторфованных участков террасы и поймы рек Цны, Березины, Пони, приозерий ранее существовавшего озера Гнюта в центральной части торфяного месторождения Цна (Ганцевичское). На выявленной стоянке мезо-неолитического времени Небышино в Докшицком районе на торфяном участке «Запонье» выполнены раскопки, обнаружены деревянные, костяные и роговые изделия и орудия, фрагменты ранненеолитической керамики для изучения современными методами.

Результаты и их обсуждение. Торфяное месторождение Цна (Ганцевичское). На территории республики широко развиты специфические природные системы, состоящие из озер и окружающих болот – озерно-болотные комплексы (ОБК). Разработана классификация и определены характеристики типичных ОБК [1], под которыми понимаются системы различной степени сложности, включающие озера, болота, склоны местных водосборов и имеющие общность гидрологического режима и протекающих природных процессов. В ОБК выделяется один, два и более генетических центров – самых пониженных участков рельефа минерального ложа, откуда произошли первичные очаги заболачивания [2]. Часто переуглубления такого рода ранее занимали озера, в которых сформировались слои сапропеля, позднее перекрытые торфом. Показано [3], что приблизительно каждое третье торфяное болото на территории республики образовалось на месте позднеледниковых озер, развивавшихся под влиянием гумусированных болотных вод и формировавших толщи донных отложений, по которым возможна идентификация глубин воды и площади распространения древних водоемов.

ОБК Цна (Ганцевичское) расположен в северо-западной части Борисовского и северо-восточной части Логойского районов, в долине р. Цны – левого притока р. Гайны, входящей в систему водосбора р. Днепр. В середине прошлого столетия у южной оконечности ОБК Цна открыта и описана ранненеолитическая стоянка человека, располагавшаяся в пределах озеровидного расширения р. Цны на уровне заторфованной пойменной террасы. Первая датировка абсолютного возраста дре-

весины из культурного слоя данной стоянки выполнена в 1976 г. [4]. Так как образец древесины, извлеченной из ранненеолитического культурного слоя (абсолютный возраст 5450 ± 75 лет), располагался в основании нижнего пласта сапропеля мощностью 1,4–1,9 м, можно утверждать, что стоянка древнего человека приурочена к старичному озерному водоему в пойме р. Цны. В связи с этим важный научный и практический интерес представляет анализ геоморфологических данных, особенностей заиления водоема и превращения его в торфяное болото. Выявленные особенности могут быть использованы для выделения перспективных участков для поиска новых поселений мезолита–неолита в сходных по строению речных долинах.

Торфяное месторождение Цна (Ганцевичское) имеет площадь в нулевых границах 6490 га и числится под номером 75 в торфяном кадастре по Минской области [5]. В Борисовском районе располагается 3200 га торфяного болота, а в Логойском районе – 3290 га. Максимальная зафиксированная мощность залежи торфа составляет 5,9 м, средняя мощность – 2,4 м. Первоначальный объем торфа на месторождении равен 145,0 млн м³, или 27,4 млн т, при условной 40 %-ной влажности. Распространен торф только низинного типа, преимущественно осокового и осоково-тростникового видов. Коренные берега на запад от торфяного месторождения представлены холмисто-грядовой возвышенностью с песчаными почвами, на восток от месторождения – мелкохолмистой возвышенностью с супесчано-суглинистыми почвами.

Начиная с 1960-х годов торфяное месторождение Цна разрабатывается на топливо торфопредприятием «Ганцевичское», производственная база которого и поселок для проживания рабочников построены на восток от месторождения у д. Горелый Луг. В настоящее время центральная и южная часть месторождения осушены сетью открытых каналов и существенно выработаны от торфа на площади около 3 тыс. га. За время существования торфопредприятия было извлечено более 10 млн т торфа, или около 60 млн м³. К дальнейшей разработке подготавливается северная часть месторождения на общей площади 1260 га, в том числе в Борисовском районе – 710 га и в Логойском районе – 550 га.

Для анализа особенностей заторфования долины р. Цны в Госгеолфонде Минприроды Республики Беларусь изучены материалы детальной разведки торфяного месторождения Цна, выполненной проектным институтом Ленгипроторф в 1956 г. [6]. При производстве детальных работ торфяная залежь на всей площади месторождения прозондирована по сетке 100 × 100 м. По фондовым материалам прежней разведки определено распределение мощности торфа по площади торфяного болота и глубины сапропеля. По наличию сапропеля определялись площади позднеледниковых и раннеголоценовых озер на торфяном месторождении.

Изучение архивных геологоразведочных материалов по распространению сапропеля под торфяной залежью показало, что на месте торфяного месторождения в послеледниковое время существовало несколько обширных водоемов с замедленным водообменом и глубинами воды 1,5–4,0 м: три в центральной части торфяного болота на общей площади 160 га и один водоем в южной части на площади 110 га. Южный берег южного озера располагался в 0,8 км на север от стоянки Заценье. Длина этого водоема составляла 1,2 км, средняя ширина – 0,9 км.

Анализ данных по бурению торфяной залежи в районе южного озера показал, что берега бывшего водоема были низкими, сложены торфом. Ввиду отсутствия в непосредственной близости от бывшего южного озера возвышенных участков, не занятых торфом, к концу атлантического периода (время появления стоянки Заценье) эта территория представляет малый интерес для поиска перспективных мест расположения новых неолитических поселений.

Заслуживает внимания центральный участок торфяного болота Цна с тремя древними озерами, два из которых тяготеют к западной возвышенной окраине торфяного месторождения. На месте наиболее крупного древнего озера площадью около 125 га до недавнего времени существовал остаточный водоем площадью около 7 га. На старых топографических картах середины XIX – первой половины XX в. на месте древнего водоема показано современное озеро Гнютя, через которое протекала одноименная река, берущая начало у северо-восточной окраины торфяного болота Цна (рис. 1). Системой протоков озеро Гнютя соединялось с р. Цной.

Удобное расположение водных артерий и озера Гнютя в северо-западной части торфяного болота Цна, близость возвышенных холмов на его берегах позволяют считать эту территорию перспективной для поиска новых поселений неолита торфяникового типа, погребенных под маломощным слоем торфа, перекрывшего и сохранившего культурные слои в результате разрастания торфяника в суб boreальное и субатлантическое время. Площадь исследования на торфяном болоте Цна в районе озера Гнютя показана на топографической карте масштаба 1 : 100 000 (рис. 2).

Важным вопросом при оценке особенностей заболачивания территории на протяжении голоценового времени является рельеф ложа болота – размещение наиболее углубленных участков, откуда начались в позднеледниковые процессы заиления озер, а затем их заторфование.

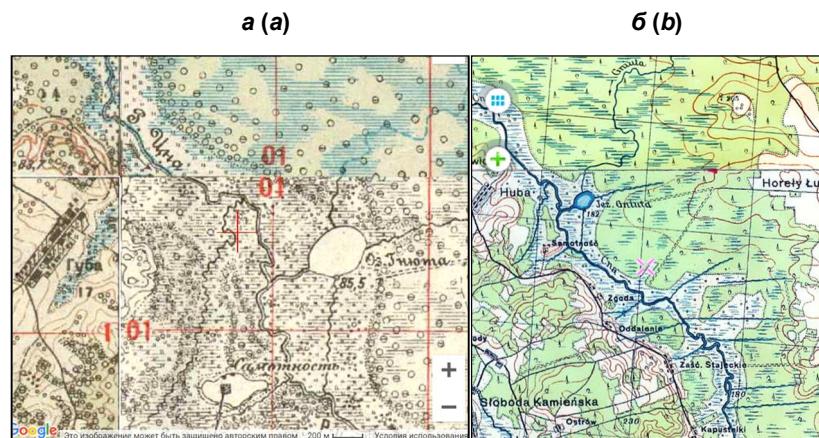


Рис. 1. Изображение на старых топографических картах торфяного месторождения Цна (Ганцевичское) в районе озера Гнюта: а – одноверстовая карта второй половины XIX в.; б – польская топографическая карта 1933 г.

Fig. 1. Image of Tsna peat deposit (Gantsevichskoye) in the area of Gnuta Lake on old topographic maps: a – one-verst map of the second half of the 19th century; b – Polish topographic map of 1933

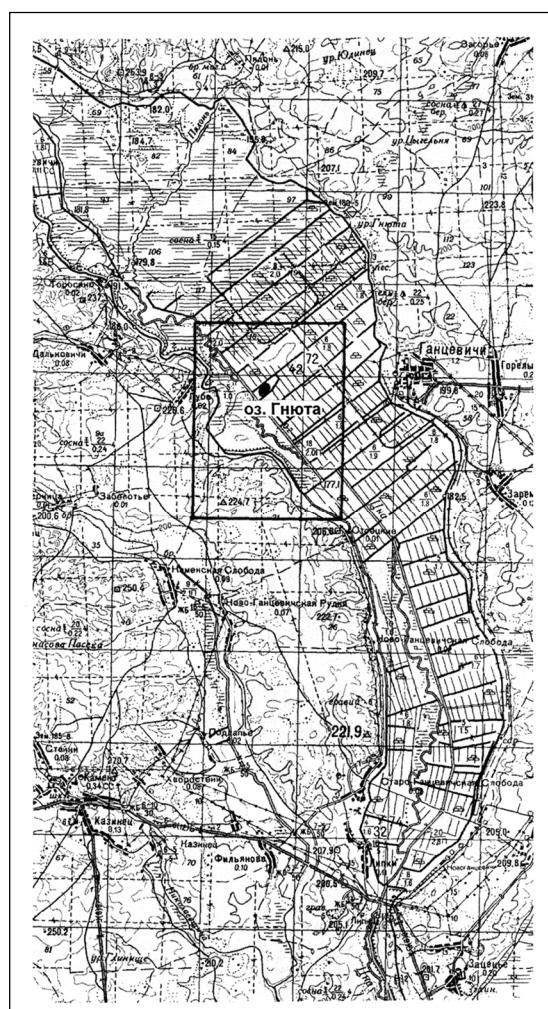


Рис. 2. Исследованная площадь на торфяном месторождении Цна (Ганцевичское) в районе озера Гнюта

Fig. 2. The investigated area of Tsna (Gantsevichskoye peat deposit) in the area of Gnuta Lake

Анализ абсолютных отметок ложа торфяного болота Цна на стратиграфических профилях торфяной залежи на юге и в северо-восточной части показывает, что в южной части месторождения (на север от стоянки Заценье, визирка 9) рельеф ложа имеет однообразный характер с амплитудой высот 2,0–4,0 м [9]. Самые низкие отметки (около 174,0 м) характерны для древнего русла р. Цны. По направлению к окрайкам торфяного болота высота постепенно возрастает до 177,0–178,0 м. Характерно, что здесь не наблюдаются поднятия ложа болота, а мощность торфяного слоя даже на окрайках месторождения составляет 3,0 м и более. Можно сделать вывод, что к концу атлантического времени (5,1–5,5 тыс. лет назад) приозерные территории южного озера были заторфованы, а само оно было полностью перекрыто торфяной сплавиной.

Для центральной части торфяного месторождения характерна большая амплитуда колебания абсолютных отметок рельефа торфяного ложа (172,0–179,0 м), а на стратиграфических профилях фиксируются его поднятия, мощность торфа над которыми менее 2,0 м (визирка 30). Анализ профилей торфяной залежи месторождения Цна показывает, что наиболее углубленные места ложа торфяного болота, как правило, заняты сапропелем и лишь в некоторых местах в окрайковых зонах наиболее древние слои торфа залегают непосредственно на минеральных отложениях. Наиболее переуглубленные участки торфяного болота Цна в северо-западной части представлены на рис. 3. Они приурочены к древним водоемам, занимавшим в послеледниковое время самые низкие отметки рельефа, кроме самого западного центра, расположенного в окрайковой зоне в депрессии рельефа на юго-восток от холмистого участка коренного берега.

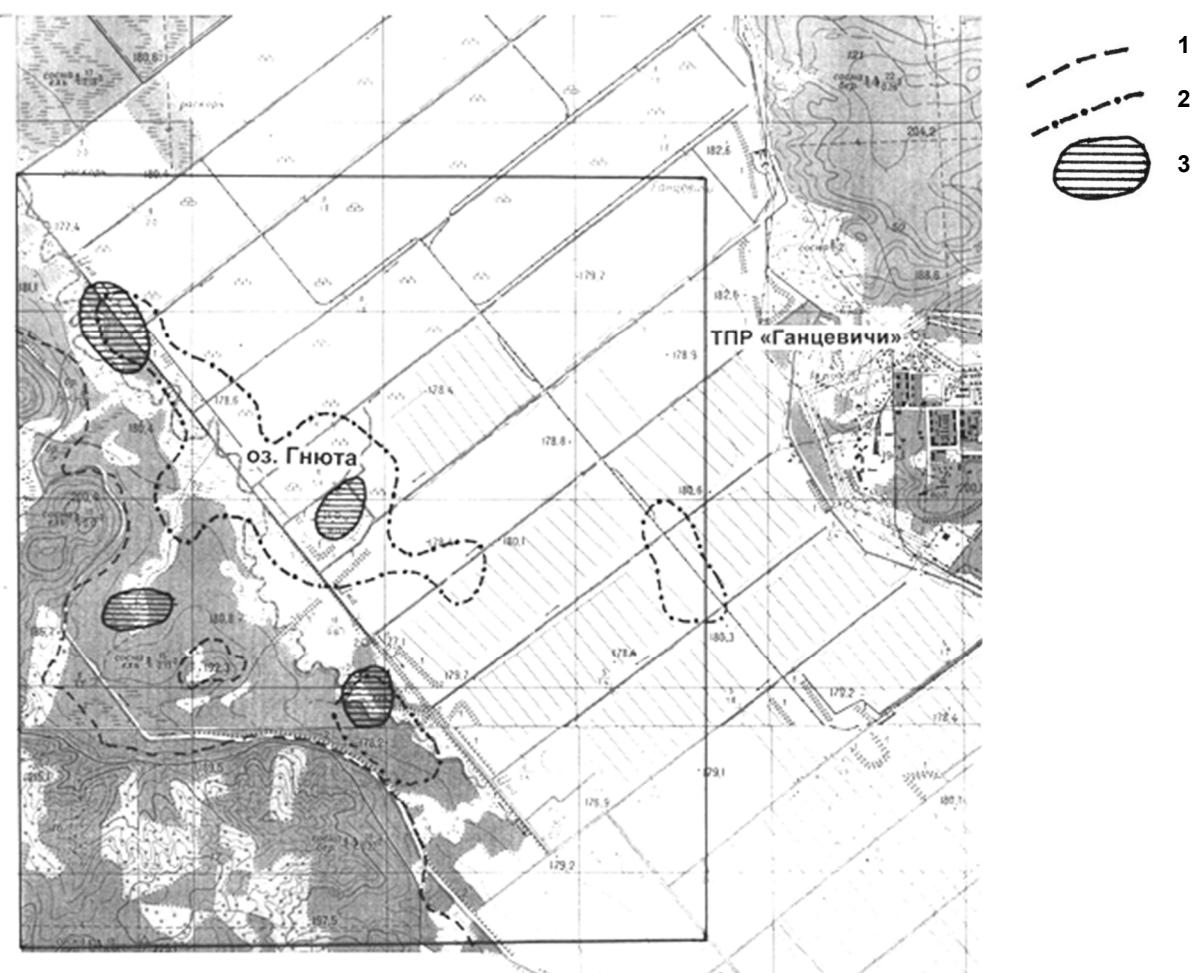


Рис. 3. Картосхема размещения генетических центров в северо-западной части торфяного месторождения Цна (Ганцевичское): 1 – современная граница торфа; 2 – контуры древних озер (9,0–10,5 тыс. лет назад); 3 – генетические центры озерно-болотного комплекса Цна

Fig. 3. Map of the location of genetic centers in the northwestern part of Tsna (Gantsevichskoye) peat deposit: 1 – the current border of peat; 2 – contours of ancient lakes (9.0–10.5 thousand years ago); 3 – genetic centers of Tsna lake-bog complex

Для прогнозной оценки начала образования торфа и сапропеля на ОБК Цна проанализированы литературные источники по определению возраста на расположенных рядом аналогичных объектах. Наиболее полно данная информация изложена в монографии Я. К. Еловичевой [7]. Географически ближе всех к изученной торфо-сапропелевой залежи Цна находится месторождение низинного торфа Гайно-Бродня (Юрьевское) Смолевичского района, расположенное 30,0 км на юг от исследованного месторождения. В результате изучения залежи различными методами определено, что возраст нижних слоев сапропеля на участке возле озера Малое Юрковское торфяника Гайно-Бродня составляет 10,5 тыс. лет. В суб boreальное время в данной точке древнее озеро было заболочено и перешло на болотную стадию развития. Общая мощность отложений торфа и подстилающего его сапропеля составила 5,5 м. Как видим, условия формирования, структура залежи в центре месторождения Цна и Гайно-Бродня (Юрьево) у озера Малое Юрковское имеют много общих черт и по аналогии для исследованного нами торфяного болота Цна за начало формирования придонных слоев торфа и сапропеля в генетических центрах принят возраст 10,5 тыс. лет назад.

Максимальная мощность торфяных отложений на месторождении Цна составляет 5,9 м, сапропеля в озере Гнютя по данным поисково-оценочных работ, выполненных геофизической экспедицией ПО «Беларусьгеология» в 1996 г., – 6,0 м. Таким образом, ежегодная скорость прироста торфа и сапропеля в точках с наибольшей мощностью осадков составляет около 0,56 мм в год. Эта цифра является максимальной скоростью нарастания торфа и сапропеля на изученном торфяном месторождении, так как в наиболее углубленных местах торфяного болота возможно переотложение органогенных осадков потоками древней р. Цны. Наиболее реальная величина средней скорости нарастания торфяной залежи, рассчитанная по материалам абсолютного датирования торфа Я. К. Еловичевой в соавторстве в 2001 г. [8], составляет около 0,40 мм в год. По данным определений в расчистке № 6 за 5120 лет (дата формирования культурного слоя) сформировался слой торфа и сапропеля мощностью 2,13 м. Полученная средняя цифра прироста органических осадков на торфянике Цна корреспондирует с расчетами других авторов для болот средней тайги [9].

С учетом того, что во времени существования неолитического поселения Заценье в конце атлантического периода (5,1–5,5 тыс. лет назад) торф и сапропель накапливались на месторождении Цна в течение около 5 тыс. лет, их средняя мощность к тому времени должна была составлять порядка 2,0 м. Следовательно, площади торфяного болота с современными глубинами торфа 2,0 м и менее были незаторfovанными к концу атлантического периода. В дальнейшем в течение суб boreального периода голоцен, ввиду сухости климата, скорость вертикального прироста торфа несколько снизилась, а в субатлантике (последние 2,5 тыс. лет) незначительно возросла [7].

На рис. 4 представлена схема размещения заторfovанных площадей к концу атлантического периода на изученном участке ОБК Цна, а также показаны участки, еще не занятые к этому времени торфом. Как видно, заторфованные к концу атлантики участки по площади сопоставимы со свободными от торфа территориями. Следует отметить, что по прогнозу площадь открытых озер на участке исследования к концу атлантического периода сократилась более чем в 3,0 раза и составила 50 га, а площадь водоема на месте современного озера Гнютя к тому времени прогнозно оценивается в 35 га.

На основании выполненных исследований, а также построенной картосхемы заторфованности в северо-западной части ОБК Цна выделены перспективные участки поиска новых торфяниковых поселений мезолита–неолита на изученной территории. В качестве основных критериев при этом определены:

- выровненный участок ложа торфяника с перепадом высот до 1,0 м, площадью не менее 10 га;
- близость к водным объектам (река, озеро, протока);
- перекрывающий современный слой торфа не более 2,0 м в неосушеннем состоянии (не более 1,5 м в осушеннем).

На схеме рис. 4 видно, что перспективные участки поиска новых неолитических торфяниковых стоянок человека тяготеют к расширениям окрайковой полосы торфяного болота между современной границей месторождения и линией заторфованности к концу атлантического периода, а также к обширным незаторfovанным к концу атлантики площадям внутри современного болота, прилегающим к контурам остаточных озер.

Торфяные месторождения в верховье Березины (озера Межужол, Медзозол, Палик).

С целью определения перспективных участков для поиска памятников мезолита–неолита верховьев р. Березины выполнено изучение архивных картографических и текстовых материалов Государственного геологического фонда по торфяным месторождениям в районе озер Межужол, Медзозол и Палик, данных Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов Беларуси на период до 2010 г., материалов Института природопользования по поисково-оценочным работам на озерных месторождениях сапропеля и определению относительного возраста осадков в озере Медзозол споро-пыльцевым методом и абсолютного возраста – по ^{14}C .

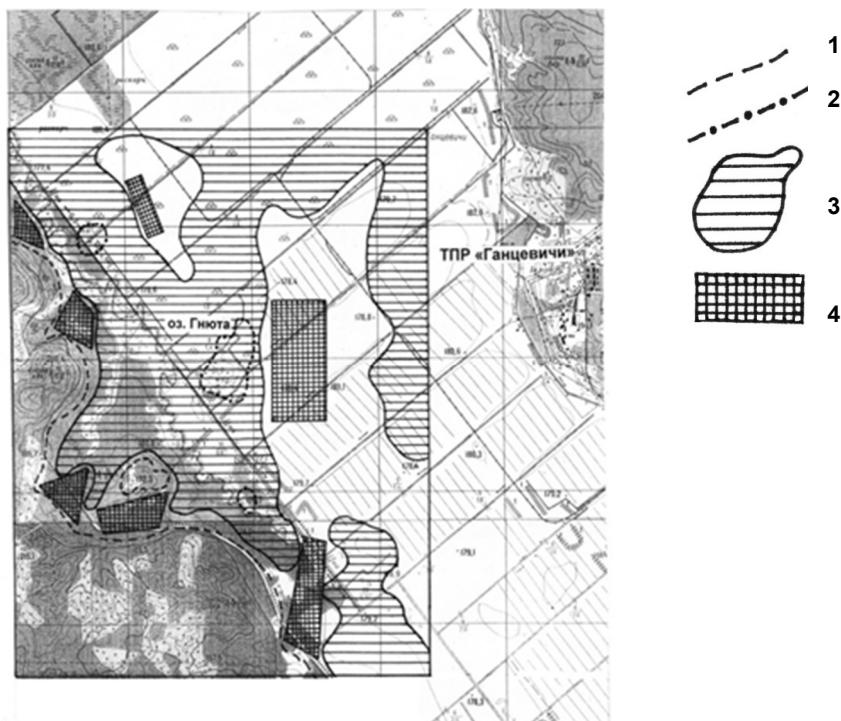


Рис. 4. Картосхема заторфованности в северо-западной части озерно-болотного комплекса Цна (Ганцевичское) 5,5 тыс. лет назад: 1 – современная граница торфа; 2 – контуры остаточных озер; 3 – заторфованные площади на конец атлантического периода; 4 – перспективные участки поиска торфяниковых поселений мезолит–неолита

Fig. 4. A map of peat peaks in the northwestern part of Tsna (Gantsevichskoye) lake-bog complex 5.5 thousand years ago: 1 – modern peat border; 2 – contours of residual lakes; 3 – contours of residual peat areas at the end of the Atlantic period lakes; 4 – promising sites for the search for mesolithic-neolithic peat settlements

Озеро Медзозол расположено на севере Докшицкого района Витебской области в пределах Верхнеберезинской водно-ледниковой низины. На запад от озера Медзозол находятся озерно-аллювиальные отложения поозерского и голоценового возраста, с востока подходят моренные отложения сожского ледника, с севера и юга распространены аллювиальные и флювиогляциальные отложения последнего оледенения.

Озеро имеет площадь 3,02 км², наибольшую глубину воды 4,1 м. Через озеро протекает р. Березина. Склоны котловины озера низкие, заболоченные, торфянистые, поросли лесом, на северо-западе имеют высоту 4,0–8,0 м, распаханы (рис. 5). Берега озера низкие, заболоченные, на юго-западе песчаные. Дно озера выслано сапропелем мощностью до 7,8 м. Вдоль берегов прослеживается песчаная литоральная зона шириной от 50,0 до 300,0 м.

Согласно фондовым картографическим данным, торфяная залежь занимает северную и южную приозерные части водосбора озера Медзозол. На север от озера расположено торфяное месторождение низинного типа Зеленое (кадастровый номер 802) площадью 321 га. В 1975 г. месторождение детально разведано. Средняя мощность торфа на нем достигает 1,6 м. Мощности торфа 1,0 м и менее характерны для участков, расположенных у береговой зоны озера Медзозол. В северной части месторождения с 1987 г. действовал торфяной участок «Зеленое», на котором проведено осушение торфяной залежи и сработка торфа на глубину 0,5–1,0 м. Под залежью торфа на площади 25 га имеется сапропель мощностью до 1,0 м, что свидетельствует о том, что ранее здесь существовало озеро. Отмеченные участки перспективны для поиска новых неолитических стоянок (рис. 5).

Вторым перспективным участком для возможного обнаружения стоянок древнего человека является северная часть торфяного месторождения Казенное-Эмкино Докшицкого района. Площадь всего месторождения, которое тянется вдоль р. Пони и подходит к озеру Медзозол с юга, составляет 4550 га. Средняя мощность торфа невелика и равна 1,9 м, а в северной части – от 0,7 до 1,5 м. Перспективная площадь для поиска неолитических поселений размещается в право- и левобережной частях р. Березины от южной оконечности озера Медзозол до впадения р. Пони в основную реку южнее д. Береспонье (рис. 5).



Рис. 5. Топографическая карта местности в районе озер Медзозол и Межужол с обозначением площадей, перспективных для поиска торфяниковых неолитических стоянок: перспективные участки показаны штриховкой

Fig. 5. Topographic map of the area near Mezzozol and Mezhuzhol Lakes with the designation of areas promising for the search of peat Neolithic sites: perspective areas are shown by hatching

В 4,0 км на север от озера Медзозол и на 5,0 м выше него по рельефу расположено **озеро Межужол**, которое связано с первым водоемом мелиоративным каналом (рис. 5). Площадь озера Межужол составляет 2,9 км², наибольшая глубина воды – 3,0 м. Склоны котловины озера невыразительные, берега низкие, повсеместно заболочены, торфянистые. Дно озера полностью выстлано органическим сапропелем, максимальная мощность которого на юге достигает 6,2 м и в среднем составляет 2,4 м. Озеро Межужол располагается в восточной части крупного торфяного месторождения Журавлевское площадью 13 869 га (кадастровый номер 801). Южная оконечность озера подходит к окрайкам месторождения Журавлевское. Здесь мощности торфа невелики и составляют 0,7–1,7 м. Это место наиболее перспективно для поиска торфяниковых поселений (рис. 5). На восток,

север и запад от озера Межужол мощности торфа на месторождении Журавлевское, как правило, более 3,0–4,0 м и данные территории неперспективны для поисков.

Для реконструкции климата и особенностей произрастания растительности на Верхнеберезинской водно-ледниковой равнине сапропелевая залежь озера Межужол исследована В. П. Зерницкой палинологически (98 проб озерных осадков до глубины 500 см) и с помощью радиоуглеродного датирования (4 образца) [10]. Это позволило восстановить картину климатических изменений в позднеледниковые и голоцене на исследуемой территории. Установлено, что нижние слои сапропелевой залежи в озере Межужол с заметным присутствием органического вещества начали формироваться около 13 тыс. календарных лет назад во время аллерацкого потепления.

Характерная особенность голоценовых отложений, формировавшихся в течение последних 11,5 тыс. календарных лет – появление в них пыльцевых индикаторов антропогенного влияния. При анализе споро-пыльцевых диаграмм выделяют группы растений, испокон веков которых свидетельствует о присутствии и хозяйственной деятельности доисторического человека. Первые признаки преобразования естественного растительного покрова, связанные с деятельностью человека, обнаружены в отложениях голоцена и объясняются переходом населения от присваивающего хозяйства к производящему (животноводству и земледелию).

Считается, что неолитическая эпоха в Беларуси началась примерно 6,5–6,8 тыс. календарных лет назад. Нижняя граница устанавливается по появлению керамики (первая половина 4-го тысячелетия до н. э.; в Полесье – конец 5-го тысячелетия до н. э.). Развитие производящей экономики регистрируется археологами на юге страны в среднем неолите (возможно, несколько ранее), а на Подвилье и, по-видимому, на верхнем Днепре – в позднем неолите. Первые признаки земледелия и животноводства, по данным пыльцевых исследований, выявлены на юго-западе Беларуси в середине атлантического этапа (~6000–7000 ^{14}C лет назад). В центральных регионах страны отчетливы признаки присутствия человека и его хозяйственная деятельность регистрируются позднее, а именно в осадках конца атлантического периода и в суб boreale (разрезы Луковица, Пески, Птичье, Сергеевское, Заценье, Межужол, Неропля и др.).

По данным пыльцевых индикаторов антропогенного влияния фаза заметного «всплеска» в осадках озера Межужол пыльцы рудеральной и культивируемой растительности отмечается в среднем суб boreale, т. е. в конце неолита, а также на современном этапе. Согласно споро-пыльцевой диаграмме [11], составленной в том числе с учетом изменений в спектрах растительности, вызванных деятельностью человека и радиоуглеродным датировкам озерных осадков, начало неолита на территории в районе озера Межужол фиксируется приблизительно 6,5 тыс. ^{14}C лет назад, когда здесь господствовали сосново-широколистственные леса. Заканчивается неолитическая эпоха в первой половине среднего суб boreala приблизительно 4,4 тыс. ^{14}C лет назад, когда на смену широколистенно-еловым лесам начала суб boreала пришли березово-сосново-еловые леса с дубом и грабом.

Озеро Палик располагается в северной части Борисовского района в среднем течении р. Березины в границах Березинского биосферного заповедника. Геоморфологически оно приурочено к северной части Центральноберезинской водно-ледниковой равнины. Торфяные и озерные отложения в районе озера подстилаются флювиогляциальными песками времени отступления по-озерского ледника.

Площадь озера занимает 7,68 км², наибольшая глубина достигает 2,1 м. Склоны котловины озера имеют высоту 6,0–8,0 м, песчаные, поросли лесом. Берега низкие, заболоченные. Дно плоское, заиленное, вдоль берегов песчаное. Озеро сильно зарастает тростником, рогозом, ситником. Данные о накоплении сапропеля отсутствуют. В южной и восточной частях к озеру примыкают три торфяных месторождения. С юга подходит месторождение Великий Палик (кадастровый номер 103) площадью 594 га. Средняя мощность торфа на нем составляет 1,8 м. С восточной стороны к озеру примыкает торфяное месторождение Палик (кадастровый номер 85) площадью 1488 га, характеризующееся незначительной (около 1,0 м) средней мощностью торфа. На северо-восток от озера располагается торфяное месторождение Хоново (кадастровый номер 84) площадью 629 га с увеличенной средней мощностью торфа 2,8 м.

Наметить перспективные участки для поиска неолитических поселений непосредственно на означенных выше торфяных месторождениях не представляется возможным, так как на них выполнены только маршрутные и поисково-оценочные работы с весьма редкой разведочной сетью, однако по комплексу геоморфологических критериев наиболее перспективными местами для поиска неолитических поселений в районе озера Палик являются:

- участок в районе д. Палик на северо-восточном берегу озера;
- прибрежный участок на юго-восток от озера на мелкозалежном торфяном месторождении Палик;
- слабо заторфованный участок на восток от д. Боровляны, который расположен в западном направлении от озера и занимает малые по площади торфяные месторождения Боровлянский Мог на

севере участка со средней глубиной торфа 1,0 м и площадью 9 га (кадастровый номер 82), а также торфяное месторождение Вертей (кадастровый номер 83) на юге перспективного участка со средней глубиной торфа 1,6 м и площадью 46 га.

Наличие большего количества водных объектов в районе озера Палик (озера, реки, ручьи), равнинный рельеф флювиогляциального генезиса с заболоченными участками и незначительными возвышениями, покрытыми торфом малой мощности или свободными от него, свидетельствуют о перспективности данной территории для поисков новых поселений древнего человека.

Участок Запонье (стоянка Небышино 1). Стоянка Небышино обнаружена в 2018 г. в северо-восточной части выбывшего из эксплуатации торфяного участка, который образовался на месте бывшего старицного водоема в пойме р. Пони. Летом 2019 г. начаты полевые исследования на данном поселении мезолит-неолитического возраста, расположенному в Докшицком районе Витебской области. Было исследовано 52 м² площади поселения, выявлено более 900 кремневых изделий, свыше 80,0 % кремневого памятника представлено дебитажем (изделиями нулевого цикла: отщепами, пластинами, сколами, чешуйками). Основная масса кремневых артефактов обнаружена в напластованиях минеральной (южной) части раскопа 2.

В северной части стоянки, в непосредственной близости от современного, канализированного русла р. Пони (правый приток р. Березины), на месте раскопа вскрыт наиболее полный разрез отложений. Общая глубина колонки составляет около 2,0 м. Сверху до 0,6–0,8 м выявлен техногенный слой (распашка под мелиорацию и лесопосадки). В заторфованной и заиленной частях раскопа выявлены деревянные, костяные и роговые изделия и орудия (74 единицы), пригодные для остеологического определения, а также до десяти фрагментов ранненеолитической керамики (нарвской археологической культуры). Для радиоуглеродного датирования отобрано 12 образцов древесины.

Стоянка расположена в пойме р. Пони на контакте моренного холма (коренной берег) и поймы. Раскоп, имеющий в плане размер 26,0 × 2,0 м и глубину у северной стенки 2,1 м, заложен в северо-восточной части участка «Запонье» торфяного месторождения «В пойме реки Пони» (рис. 6). В месте отбора образцов на различные виды анализов от поверхности раскопа вскрыты следующие слои: техногенные отложения, представленные супесью с включением гравия и валунов (в нижней части слоя) – 0,80 м; низинный торф древесно-осокового вида высокой степени разложения – 0,30 м; песок гумусированный и песок серый – 0,32 м; торфосапропель с прослойками ила опесчененного – 0,37 м; подстилающие серые пески с прослойками гумуса – 0,1 м. Фото разреза в месте отбора образцов на раскопе стоянки представлено на рис. 7.



Рис. 6. Раскоп в северо-восточной части участка «Запонье» торфяного месторождения «В пойме реки Пони» на месте стоянки мезолита–неолита в 370 м на юг от д. Небышино Докшицкого района Витебской области

Fig. 6. Excavation in the north-eastern part of Zaponye site of «In the floodplain of the Ponya River» peat deposit at the site of the Mesolithic-Neolithic from 370 m south of Nebyshino village, Dokshitsky district, Bitebsk region



Рис. 7. Зачистка стратиграфического разреза северной стенки раскопа в месте отбора образцов для различных видов анализов на стоянке Небышино 1, июль 2019 г.

Fig. 7. Cleaning of the stratigraphic section of the northern wall of the excavation site at the sampling site for various types for the analyzes of Nebyshino 1 site, July, 2019

Образцы пород на месте стоянки Небышино отобраны сплошным монолитом с площадью основания $17,0 \times 17,0$ см (для спорово-пыльцевых анализов, радиоуглеродных датировок, ботанических и гранулометрических анализов). Из отбора был исключен техногенный верхний слой глубиной 0,8 м, который нарушен из-за строительства моста через р. Поню в XIX в. и в результате лесопосадок в современное время. Для общетехнических и биологических определений на всю глубину разреза отобраны также образцы пород через 5,0 см. На месте раскопа собран археологический материал. Каждая находка зафиксирована в трехмерных координатах.

В отобранных образцах определены относительная влажность, зольность, содержание органического вещества и карбоната кальция, биологический состав торфосапропеля и ботанический состав торфа.

Полученный новый материал по вещественному составу отложений на месте стоянки на торфяном месторождении «В пойме реки Пони» в 370,0 м на юг от д. Небышино Докшицкого района позволяет сделать предварительное заключение о физико-географических и геоморфологических условиях в районе древнего поселения, что важно для установления предпосылок для поисков новых торфяниковых стоянок человека мезо-неолитического времени.

Поселение возникло на берегу водного объекта – русло р. Пони и озеро старичного типа. О существовании озера в районе раскопа свидетельствует биологический состав нижней части разреза на глубине 62,0–99,0 см от поверхности торфа (142,0–179,0 см от поверхности техногенных отложений). Древний водоем отличался мелководностью, значительной зарослью водными макрофитами, среди которых преобладали рогоз, тростник, нимфейные, роголистник (см. таблицу). Водоем, ввиду мелководности и заторованности берегов, имел дистрофный характер.

О низком трофическом статусе водоема свидетельствует незначительное присутствие остатков водорослей в образцах, полное отсутствие индикаторов эвтрофирования – диатомовых водорослей [12]. Чаще других в нижних образцах разреза присутствуют ткани водных растений, остатки ветвисто-усых раков *Cladocera* sp., хитин водных насекомых и остатки синезеленых водорослей – обрастатель макрофитов (*Lyngbia* sp.). Зольность торфосапропелевых отложений составляет 37,0–69,0 %, карбонатность низкая. На относительных глубинах 77,0–87,0 см и 89,0–94,0 см в отложениях торфосапропеля имеются прослойки опесчаненного или темно-коричневого цвета.

Контуры старичных водоемов на пойме р. Пони хорошо идентифицируются на плане детальной разведки участка «Запонье» торфяного месторождения «В пойме реки Пони», выполненной в 1968 г. Анализ имеющихся геологоразведочных материалов позволяет заключить, что в подстилании торфяной залежи повсеместно встречаются озерные отложения: сапропели, илы и мергели. На зондировочных профилях по характерным понижениям рельефа и донным отложениям отчетливо вскрыты остатки старичных водоемов, которые имеют максимальное удаление от основного русла реки на 300,0–350,0 м. Особенно густая сеть староречий вскрыта на запад от раскопа, что может служить основанием для расширения поисков и новых раскопок в последующие годы.

**Биологический состав и породы подстилающих торф озерных отложений
на месте раскопа на стоянке Небышино**

**Biological composition and the rocks of the underlying peat of lake sediments
at the excavation site at Nebyshino site**

Номер образца	Биологический состав, %	Порода
14	Водные макрофиты – 30	Торфосапропель
	Ветвистоусые ракчи (<i>Cladocera</i> sp.) – 35	
	Хитин водных насекомых – 20	
	Синезеленые водоросли (<i>Lyngbia</i> sp.) – 5	
	Золотистые водоросли – ед.	
	Споры и пыльца – 10	
15	Водные макрофиты – 45	Торфосапропель
	<i>Cladocera</i> sp. – 30	
	Хитин водных насекомых – 15	
	Синезеленые водоросли (<i>Gloeotrichia</i> sp., <i>Lyngbia</i> sp., <i>Anabaena</i> sp.) – 5	
	Золотистые водоросли – ед.	
	Споры и пыльца – 5	
16	Водные макрофиты (гипновые мхи) – 40	Торфосапропель
	<i>Cladocera</i> sp. – 25	
	Хитин водных насекомых – 25	
	Синезеленые водоросли (<i>Lyngbia</i> sp., <i>Gloeotrichia</i> sp., <i>Aphanizomenon</i> sp., <i>Anabaena</i> sp.) – 5	
	Золотистые водоросли – ед.	
	Споры и пыльца – ед.	
17	Водные макрофиты – 45	Ил опесчаненный
	<i>Cladocera</i> sp. – 25	
	Хитин водных насекомых – 30	
	Синезеленые водоросли (<i>Lyngbia</i> sp.) – ед.	
	Споры и пыльца – ед.	
18	Водные макрофиты – 60	Ил опесчаненный
	<i>Cladocera</i> sp. – 25	
	Хитин водных насекомых – 15	
	Споры и пыльца – ед.	
19	Водные макрофиты (роголистник, рогоз, тростник) – 65	Торфосапропель
	<i>Cladocera</i> sp. – 15	
	Хитин водных насекомых – 20	
	Синезеленые водоросли – ед.	
	Споры и пыльца – ед.	
20	Водные макрофиты – 75	Ил опесчаненный
	<i>Cladocera</i> sp. – 15	
	Хитин водных насекомых – 10	
	Споры и пыльца – ед.	
21	Водные макрофиты – 60	Торфосапропель
	<i>Cladocera</i> sp. – 15	
	Хитин и яйца водных насекомых – 20	
	Синезеленые водоросли (<i>Gloeotrichia</i> sp.) – 5	
	Золотистые водоросли – ед.	
22	Водные макрофиты – 80	Песок серый с прослойками гумуса толщиной 1,0–3,0 мм
	<i>Cladocera</i> sp. – ед.	
	Хитин водных насекомых – 20	
	Споры и пыльца – ед.	
23	Водные макрофиты – 90	Песок серый
	<i>Cladocera</i> sp. – ед.	
	Хитин водных насекомых – 10	

Выше торфосапропелевых отложений расположен слой аллювиальных серых и гумусированных песков, имеющих разнозернистый состав, косую слоистость. Зольность этих отложений изменяется от 87,6 до 99,6 %, карбонатность минимальна, кроме слоя на глубине 40,0–45,0 см, где содержа-

ние CaCO_3 составляет 5,0 %. Образование слоя аллювиальных отложений между торфосапропелем и торфом может быть связано с увеличенным расходом реки вследствие увлажнения климата, увеличения высоты паводков в связи с подпором воды ниже по течению и по другим причинам. Т. Калицкий отмечает [13] фазы повышенной активности рек в Восточной Европе, выявленные 5500–5000, 3100, 2100 лет назад. Эти фазы проявились в периоды похолоданий и увлажнения климата, что в нашем случае требует подтверждения спорово-пыльцевым анализом.

Выше аллювиального слоя на глубине 0,8–1,1 м от поверхности размещается торф низинного типа повышенной степени разложения. Зольность торфа составляет 18,0–49,3 %, а его карбонатность несколько выше, чем нижележащих слоев. Следует отметить, что слой торфа прикрывает культурный слой, в котором сделаны основные археологические находки при раскопках в 2019 г. стоянки Небышино.

Выше слоя торфа на глубине 0,0–0,8 м размещается нарушенный техногенный слой минеральных отложений. Этот слой образовался предположительно в субатлантическое время в результате снижения уровня воды в основной реке и усиления антропогенных воздействий на окружающую территорию: сведение лесов, эрозионное расчленение расположенных южнее раскопа склонов моренного холма с появлением промоин и оврагов. Минеральный материал по овражной сети направлялся в пойму, образуя конусы выноса, которые покрывали заторфованную долину р. Пони в районе древнего поселения у д. Небышино. Воздействие человека на процессы формирования ландшафтов поймы стали особенно заметны, начиная с X–XI вв. [14].

Комплексное изучение материалов, полученных в результате полевого сезона 2019 г., позволит обрасти недостающие естественнонаучные данные о характере изменений климата и физико-географической среды обитания человека в изученном регионе, провести комплексный анализ материалов раскопок и их научную интерпретацию.

Заключение. С учетом выполненных исследований можно рекомендовать следующую методологию определения перспективных участков поиска торфяниковых поселений мезолита–неолита по геолого-геоморфологическим критериям.

1. По картографическим источникам различного масштаба анализируются торфяные месторождения или участки крупных торфяных болот с развитой системой древних и современных водных объектов (реки, озера, протоки, рукава и др.).

2. По палинологическим данным и данным абсолютного датирования изучаемого объекта или расположенного рядом генетически родственного торфяного месторождения определяется время начала торфо- и сапропелеобразования в наиболее глубоких местах залежи.

3. По данным зондирования детальной разведки торфяного месторождения выделяются контуры древних озер и определяются центры торфообразования и разрастания торфяной залежи по вертикали и простирианию, которые наносятся на современную топографическую основу.

4. Строится картосхема минерального ложа торфяного месторождения с изолиниями абсолютных отметок дна, а также анализируются стратиграфические профили торфяной и сапропелевой залежи по характерным створам, пересекающим интересующие нас участки месторождения, на которых отображаются поднятия минерального ложа с глубинами торфяной залежи менее 2,0 м. Полученные данные совмещаются с современной топососновой.

5. С учетом рельефа минерального ложа торфяного месторождения, скорости прироста торфа и его мощности проводится граница между заторфованными к концу атлантического периода площадями и участками, свободными в этот период от торфа.

6. Путем сопоставления положения древних водоемов и размещения свободных от торфа на тот период участков на современной топососнове выделяются перспективные площади поиска торфяниковых поселений мезолита–неолита, расположенные в непосредственной близости от водных объектов.

С использованием разработанных геоморфологических и геологических критериев намечены перспективные участки для обнаружения новых торфяниковых поселений мезолита–неолита в верховьях бассейна р. Березины в районе озер Межужол, Медзозол, Палик и окружающих их торфяных месторождений, на месте бывшего озера Гнюта в северо-западной части торфяного месторождения Цна (Ганцевичское).

По разработанной методологии в 2018 г. выполнен поиск, в результате которого в 370,0 м на юг от д. Небышино выявлено новое торфяниковое поселение человека предположительно мезо-неолитического времени на торфяном месторождении «В пойме реки Пони» Докшицкого района Витебской области, где в 2019 г. проведены раскопки и обнаружены фрагменты ранненеолитической керамики, а также деревянные, костяные и роговые изделия и орудия, требующие изучения.

Исследование выполнено в рамках совместного белорусско-российского научного проекта при поддержке РФФИ (грант №18-59-00007) и БРФФИ (грант Г18Р-015).

Список использованных источников

1. Ракович, В. А. Генезис, современное состояние и пути биосферно совместимого использования торфяных месторождений (на примере Белорусского Поозерья) / В. А. Ракович : дис. ... канд. техн. наук : 05.15.05. – Минск, 1997. – 220 с.
2. Кузьмин, Г. Ф. Болота и их использование / Г. Ф. Кузьмин // Сб. науч. тр. / ВНИИТП ; под ред. В. Г. Селеннова. – СПб., 1993. – Вып. 70. – 140 с.
3. Kurzo, B. Relationships of under-peat sapropel forming on the territory of Belarus and classification of peat-sapropel deposits / B. Kurzo, O. Gajdukevich // Advanced methods and solutions in water engineering: selected papers of the conf., dedicated to the 60 year anniversary of the Faculty of Water and Land management, Birštonas, 12–13 oct. 2006 y. / Lithuanian Univer. of Agricul.; compil. A. Dumbravskas [et al.]. – Birštonas (Lithuania), 2006. – P. 147–151.
4. Долуханов, П. М. Палеогеография и абсолютная хронология стоянки Заценье / П. М. Долуханов, Г. М. Левковская, Е. Н. Романова, А. А. Семенцов, М. М. Чернявский // Доклады Академии наук БССР. – 1976. – Т. XX, № 9. – С. 817–819.
5. Торфяной фонд Белорусской ССР / Кадастровый справочник : в 2 ч. – Минск, 1978. – Ч. 1 : Минская область. – 140 с.
6. Фейгин, А. В. Отчет о детальной разведке торфяного месторождения Цна (Ганцевичское) в Борисовском районе Минской области БССР / А. В. Фейгин. – Л. : Ленгипроторф, 1956.
7. Еловичева, Я. К. Эволюция природной среды антропогена Беларуси (по палинологическим данным) / Я. К. Еловичева. – Минск : Белсэнс, 2001. – 292 с.
8. Реконструкция природных условий местообитания древнего человека на стоянке Заценье (Беларусь) / Я. К. Еловичева, Е. Н. Дрозд, Н. В. Скопцова, С. Н. Снаговский, Э. А. Ляшкевич, А. А. Разлуцкая, В. Л. Лакиза // Литосфера. – Минск, 2002. – № 2 (17). – С. 41–51.
9. Динамика вертикальной скорости торфонакопления, биологической продуктивности болотных систем и темпов заболачивания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://myzooplanet.ru/bolotovedenie_906/dinamika-vertikalnoy-skorosti-torfonakopleniya-17295.html. – Дата доступа: 12.11.2018.
10. Зерницкая, В. П. Реконструкция климата Беларуси в позднепалеоценово- голоцене / В. П. Зерницкая // Наука и инновации. – 2016. – № 9 (163). – С. 21–24.
11. Зерницкая, В. П. Реконструкция хозяйственной деятельности человека в голоцене / В. П. Зерницкая // Наука и инновации. – 2011. – № 9 (103). – С. 16–19.
12. Курзо, Б. В. Биологический состав сапропеля и остатки гидробиоты для диагностики трофического уровня озер / Б. В. Курзо // Весці Нац. акад. наук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2005. – № 2. – С. 41–46.
13. Калицкий, Т. Эволюция некоторых речных долин Беларуси в позднепалеоценово- голоцене / Т. Калицкий // Литосфера. – 1999. – № 10–11. – С. 49–55.
14. Chotinski, N. A. Naturalne i antropogeniczne poziomy graniczne w osadach holocenskich Polski i centralnej części Niziny Rosyjskiej / N. A. Chotinski, L. Starkel // Przegl. Geogr. – 1982. – T. 54, № 3. – S. 201–218.

References

1. Rakovich V. A. *Genezis, sovremennoe sostojanie i puti biosferno sovmestimogo ispol'zovanija torfjanyh mestorozhdenij (na primere Beloruskogo Poozer'ja)* [Genesis, current status and ways of biosphere compatible use of peat deposits (on the example of the Belarusian Lake District)]. PhD. techn. sci. dis.]. Minsk, 1997, 220 p. (in Russian)
2. Kuz'min G. F. *Bolota i ih ispol'zovanie* [Swamps and their use]. Sb. nauch. tr. VNIITP [Proc. of the VIITP]. Ed. V. G. Selennova. St. Petersburg, 1993, vol. 70, 140 p. (in Russian)
3. Kurzo B., Gajdukevich O. Relationships of under-peat sapropel forming on the territory of Belarus and classification of peat-sapropel deposits. Advanced methods and solutions in water engineering: selected papers of the conf., dedicated to the 60 year anniversary of the Faculty of Water and Land management, Birštonas, 12–13 oct. 2006 y. Birštonas (Lithuania), 2006, pp. 147–151.
4. Doluhanov P. M., Levkovskaja G. M., Romanova E. N., Semencov A. A., Chernjavskij M. M. *Paleogeografija i absolutnaja hronologija stojanki Zacen'e* [Paleogeography and absolute chronology of the parking Zacen'e]. Dokl. akad. nauk BSSR [Proc. of the Academy of Sciences of Belarus]. 1976, vol. 20, no. 9, pp. 817–819. (in Russian)
5. *Torfjanoj fond Beloruskoy SSR* [Peat Fund of the Belarusian SSR]. Kadastrovyj spravochnik (v dvuh chastjah): Minskaja oblast' [Cadastral reference (in two parts)]. Minsk region, part 1]. Minsk, 1978, vol. 1, 140 p. (in Russian)
6. Feigin A. V. *Otchet o deta'lnoj razvedke torfjanogo mestorozhdenija Cna (Gantsevichskoe) v Borisovskom rajone Minskoy oblasti BSSR* [Report on detailed exploration of the Tsna peat deposit (Gantsevichskoye) in the Borisov district of the Minsk region of the BSSR]. Leningrad, 1956. (in Russian)
7. Elovicheva Ja. K. *Ehvoljucija prirodnoj sredy antropogena Belarusi (po palinologicheskim dannym)* [The evolution of the natural environment of the anthropogen of Belarus (according to palynological data)]. Minsk, 2001, 292 p. (in Russian)
8. Elovicheva Ja. K., Djoozd E. N., Skojacova N. V., Snagovjokij S. N., Ljashkevich Eh. A., Razluckaja A. A., Lakiza V. L. *Rekonstrukcija prirodnih usloviy mestoobitanija drevnego cheloveka na stojanke Zacen'e (Belarus')* [Reconstruction

- of the natural conditions of the habitat of an ancient person at the Zatsenye site (Belarus)]. *Litasfera = Lithosphere*, Minsk, 2002, no. 2 (17), pp. 41–51. (in Russian)
9. *Dinamika vertikal'noj skorosti torfonakoplenija, biologicheskoj produktivnosti bolotnyh sistem i tempov zabolachivaniya* [The dynamics of the vertical peat accumulation rate, biological productivity of wetland systems and waterlogging rates]. Available at: https://myzooplanet.ru/bolotovedenie_906/dinamika-vertikalnoy-skorosti-torfonakopleniya-17295.html (accessed of 2018, November, 12). (in Russian)
 10. Zernickaja V. *Rekonstrukcija klimata Belarusi v pozdnelednikov'e i golocene* [Climate reconstruction of Belarus in the Late Glacial and Holocene]. *Nauka i innovacii = Science and innovation*, 2016, no. 9 (163), pp. 21–24. (in Russian)
 11. Zernickaja V. *Rekonstrukcija hozjajstvennoj dejatel'nosti cheloveka v golocene* [Reconstruction of human economic activity in the Holocene]. *Nauka i innovacii = Science and innovation*, 2011, no. 9 (103), pp. 16–19. (in Russian)
 12. Kurzo B. V. *Biologicheskij sostav sapropelja i ostatki gidrobioti dlja diagnostiki troficheskogo urovnya ozer* [The biological composition of sapropel and the remains of hydrobiota for the diagnosis of trophic level of lakes]. *Izv. NAN Belarusi. Ser. biologich. nauk*, 2005, no. 2, pp. 41–46. (in Russian)
 13. Kalickij T. *Ehvoljucija nekotoryh rechnyh dolin Belarusi v pozdnelednikov'e i golocene* [The evolution of some river valleys of Belarus in the Late Glacial and Holocene]. *Litasfera = Lithosphere*, 1999, no. 10–11, pp. 49–55. (in Russian)
 14. Chotinski N. A., Starkel L. Naturalne i antropogeniczne poziomy graniczne w osadach holocenskich Polski i centralnej czescti Niziny Rosyjskiej. *Przegl. Geogr.*, 1982, vol. 54, no. 3, pp. 201–218.

Информация об авторах

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

Жилин Михаил Геннадьевич – д-р ист. наук, вед. науч. сотрудник, Ин-т археологии РАН (ул. Дм. Ульянова, 19, 117036, г. Москва, Россия). E-mail: mizhilin@yandex.ru

Езепенко Игорь Николаевич – канд. ист. наук, ст. науч. сотрудник, Ин-т истории НАН Беларуси (ул. Академическая, 1, 220072, г. Минск, Беларусь). E-mail: ezep63@yandex.ru

Information about the authors

Boris V. Kurzo – D. Sc. (Technical), Associate Professor, Head of Lab. of Peat and Sapropel Deposits Utilization and Protection, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: kurs@ecology.basnet.by

Mikhail G. Zhilin – D. Sc. (History), Leading Researcher, Institute of Archeology of the RAS, Dm. Ulyanova Str., 19, 117036, Moscow, Russia). E-mail: mizhilin@yandex.ru

Igor N. Ezepenko – Ph. D. (History), Senior Researcher, Institute of History of the National Academy of Sciences of Belarus (Academicheskaya Str., 1, 220072, Minsk, Belarus). E-mail: ezep63@yandex.ru

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

УДК 634.737:581.5:581.522.4(476)

Поступила в редакцию 13.08.2019
Received 13.08.2019

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ И МИКРОБНЫХ УДОБРЕНИЙ
НА АНТИОКСИДАНТНУЮ И ФЕРМЕНТАТИВНУЮ АКТИВНОСТЬ
ПЛОДОВ ГОЛУБИКИ НА РЕКУЛЬТИВИРУЕМОМ УЧАСТКЕ
ТОРФЯНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЕРХОВОГО ТИПА**

Ж. А. Рупасова¹, А. П. Яковлев¹, А. А. Ярошук¹, В. С. Задаля¹, Э. И. Коломиец²,
З. М. Алещенкова², И. И. Лиштван³

¹Центральный ботанический сад НАН Беларусь, Минск, Беларусь;

²Институт микробиологии НАН Беларусь, Минск, Беларусь;

³Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведены результаты двухлетнего (2017–2018 гг.) сравнительного исследования в опытной культуре на рекультивируемом участке выбывшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения верхового типа на севере Беларуси влияния полного минерального и микробных удобрений МаКлоП, АгроМик и Бактопин на антиоксидантную и ферментативную (ПО, ПФО, КАТ) активность плодов *V. angustifolium* L. и *V. corymbosum* L. (сорта Northcountry и Northblue). Установлено существенное влияние погодных условий вегетационного периода и генотипа опытных растений не только на уровень антиоксидантной и ферментативной активности в плодах голубики, но и на приоритетное значение отдельных энзимов в метаболических процессах на фоне испытываемых агроприемов.

Несмотря на существенные межсезонные различия в изменении уровня антиоксидантной и ферментативной активности в плодах голубики под действием удобрений, в ряде случаев, особенно у сортов *V. corymbosum*, в направленности данных изменений в оба сезона выявлены наиболее устойчивые, причем аналогичные тенденции. Независимо от погодных условий вегетационного периода для *V. angustifolium* при применении АгроМика показано ослабление активности КАТ и ПО при усилении последней при внесении N₁₆P₁₆K₁₆. Для сорта Northcountry аналогичное ослабление активности данной пары ферментов установлено на фоне внесения АгроМика и Бактопина, тогда как при внесении N₁₆P₁₆K₁₆ наблюдалось снижение активности каталазы, а также ПФО при использовании удобрения МаКлоП. Для сорта Northblue заметным постоянством проявления в годы наблюдений характеризовалось ингибирование ПО при внесении АгроМика, а также 10 %-ного МаКлоПа и Бактопина, сопровождавшееся усилением активности ПФО на фоне внесения N₁₆P₁₆K₁₆ и 10 %-ного МаКлоПа.

Ключевые слова: выбывшее из промышленной эксплуатации торфяное месторождение; узколистная и высокорослая голубика; микробные и минеральные удобрения; плоды; антиоксидантная активность; окислиительно-восстановительные ферменты; каталаза; пероксидаза; полифенолоксидаза.

Для цитирования. Рупасова Ж. А., Яковлев А. П., Ярошук А. А., Задаля В. С., Коломиец Э. И., Алещенко-ва З. М., Лиштван И. И. Влияние минеральных и микробных удобрений на антиоксидантную и ферментативную активность плодов голубики на рекультивируемом участке торфяного месторождения верхового типа // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 231–242.

INFLUENCE OF MINERAL AND MICROBIAL FERTILIZERS ON THE ANTIOXIDANT AND ENZYMATIC ACTIVITY OF BLUEBERRY FRUITS ON THE REACTIVED SECTOR OF THE DEVELOPED PEAT

**Zh. A. Rupasova¹, A. P. Yakovlev¹, A. A. Yaroshuk¹, V. S. Zadalia¹,
E. I. Kolomiets², Z. M. Aleshchenkova², I. I. Lishtvan³**

¹*Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus;*

²*Institute of Microbiology National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus;*

³*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

Abstract. The results of a two-year (2017–2018) comparative study in the experimental culture on the reclaimed area of the reactive sector of the produced peat in the north of Belarus, the influence of the full mineral and microbial fertilizers "MaKloR", "AgroMik" and "Bactopin" with differentiated and combined use on antioxidant and enzymatic are presented. (PO, PFO and catalase) activity of fruits of *V. angustifolium L.* and *V corymbosum L.* (varieties Northcountry and Northblue). A significant influence of the weather conditions of the vegetation period and the genotype of the experimental plants was established not only on the level of antioxidant and enzymatic activity in blueberry fruits, but also on the priority value of individual enzymes in metabolic processes against the background of the tested agricultural practices.

Despite significant interseasonal differences in changes in the level of antioxidant and enzymatic activity in blueberry fruits under the influence of fertilizers, especially in *V. corymbosum* varieties, the most stable, and, similar, trends were revealed in the direction of these changes in both seasons. Regardless of the weather conditions of the growing season, for *V. angustifolium*, when "AgroMik" was used, a decrease in the activity of catalase and peroxidase was shown when the latter was strengthened when N₁₆P₁₆K₁₆ was added. For the Northcountry cultivar, a similar weakening of the activity of this pair of enzymes was established against the background of the addition of "AgroMik" and "Bactopin", while when N₁₆P₁₆K₁₆ was applied, a decrease in catalase activity, as well as PFO, was observed when using the "MaKloR" fertilizer. For the Northblue variety, peroxidase inhibition upon application of "AgroMik", in combination with 10 % "MaKloR" and "Bactopin", accompanied by an increase in PFD activity against the background of the introduction of N₁₆P₁₆K₁₆ and 10 % "MaKloR" was characterized by a noticeable constancy of manifestation during the years of observation.

Key words: developed peat; narrow-leaved and tall blueberries; microbial and mineral fertilizers; fruits; antioxidant activity; redox enzymes; catalase; peroxidase; polyphenol oxidase.

For citation. Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Yaroshuk A. A., Zadalia V. S., Kolomiets E. I., Aleshchenkova Z. M., Lishtvan I. I. Influence of mineral and microbial fertilizers on the antioxidant and enzymatic activity of blueberry fruits on the reactive sector of the developed peat. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 231–242.

Введение. В связи с совершенствованием технологии фиторекультивации выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений Беларуси на основе выращивания интродуцированных ягодных растений рода *Vaccinium* в плане оптимизации режима их минерального питания, представляется целесообразным использование в этих целях микробных препаратов комплексного действия, способствующих активизации микробиологических и биохимических процессов в остаточном слое торфяной залежи. Это позволило бы не только отказаться от традиционно применяемых на этих малоплодородных и сильнощелочных землях долгостоящих минеральных удобрений, но и обеспечить получение экологически чистой высоковитаминной ягодной продукции, соответствующей требованиям органического земледелия, что согласуется с принятым в ноябре 2018 г. в Республике Беларусь Законом «О производстве и обращении органической продукции». В настоящее время в Институте микробиологии НАН Беларусь создан ряд новых микробных препаратов на основе ассоциированных азотфиксирующих и фосфатмобилизующих бактерий [1, 2], показавших в опытной культуре высокую эффективность при выращивании голубики на выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождениях в плане активизации ростовых и биопродукционных процессов, а также увеличения питательной и витаминной ценности ее плодов [3, 4].

При этом было установлено существенное влияние удобрений на накопление в них биофлавоноидов, являющихся природными антиоксидантами, в значительной степени определяющими полезные свойства ягодной продукции данного интродуцента [5]. Вместе с тем общеизвестно, что важнейшую роль в защите растительных клеток от кислородных интермедиантов играют ферменты, способные обезвреживать в них супероксидные радикалы и перекисные соединения и поддерживающие тем самым высокий уровень их антиоксидантной активности. В первую очередь к ним могут быть отнесены ферменты окислительно-восстановительного цикла, в частности пероксидаза (ПО), катализирующя реакции окисления органических и неорганических соединений с использованием пероксида водорода или органических перекисей в качестве акцепторов электронов, полифенолоксидаза (ПФО), усиливающая окисление различных фенольных соединений в семихиноны и хиноны с участием молекулярного кислорода, а также каталаза (КАТ) катализирующая дисмутацию H₂O₂ до H₂O и O₂ и способная работать как ПО, ускоряя окисление спиртов или альдегидов [6, 7]. В этой связи особый научный и практический интерес обретает сравнительное исследование антиоксидантной и ферментатив-

ной активности плодов голубики на фоне внесения удобрений при выращивании на рекультивируемых площадях выбывших из промышленной эксплуатации торфяных месторождений.

Цель исследований – провести сравнительную оценку влияния полного минерального и ряда отечественных микробных удобрений на общий уровень антиоксидантной активности и активность окислительно-восстановительных ферментов – ПО, ПФО, КАТ в плодах голубики в специфических условиях существования на этих малоплодородных и сильноокислых органических субстратах.

Методы исследований. Исследования выполнены в 2017–2018 гг. в опытной культуре на рекультивируемом участке выбывшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения верхового типа в Докшицком р-не Витебской обл. в рамках полевого эксперимента на сильноокислом ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 2,8$), малоплодородном (содержание P_2O_5 и K_2O не более 12–15 и 11–21 мг/кг соответственно), полностью лишенном растительности остаточном слое донного торфа средней степени разложения, представленном сфагново-древесно-пушицовой ассоциацией.

Схема опыта включала шесть вариантов в трехкратной повторности и предусматривала двукратное за сезон (в мае и июне) луночное внесение удобрений: 1 – контроль, без внесения удобрений; 2 – внесение 10 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлоП (0,5 л/растение) из расчета 20 г на 100 л рабочего раствора, или 0,1 г на 1 растение; 3 – внесение 50 %-ного раствора жидкого удобрения МаКлоП (0,5 л/растение); 4 – внесение жидкого препарата АгроМик (0,5 л/растение); 5 – внесение жидкого препарата Бактопин (0,5 л/растение) из расчета 20 г на 100 л рабочего раствора, или 0,1 г на 1 растение; 6 – внесение в почву NPK 16 : 16 : 16 кг/га д. в., или 5 г на 1 растение. В каждом варианте опыта было высажено по 18 растений голубики.

В качестве объектов исследований использовали зрелые плоды растений голубики узколистной *V. angustifolium* и *V. corymbosum* (сорта Northcountry и Northblue). В этанольных экстрактах из усредненных проб свежих плодов голубики определяли антиоксидантную активность с использованием 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (ДФПГ) [8, 9], активность ПО – по методу А. Н. Бояркина [10]; ПФО – с пирокатехином по методу, описанному в работе [11], КАТ – по методу А. Н. Баха и А. И. Опарина [12].

Все аналитические определения выполнены в трехкратной биологической повторности. Данные статистически обработаны с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты исследований и их обсуждение. Годы исследований характеризовались выраженным контрастами погодных условий вегетационного периода, отмеченного в 2017 г. в основном близким к средней климатической норме температурным фоном при недостатке влаги в июне, августе и сентябре и ее существенном избытке в апреле и октябре, тогда как сезон 2018 г. на всем протяжении характеризовался аномально жаркой погодой с превышением на 18–76 % среднемноголетних температурных показателей при существенном дефиците атмосферных осадков, и лишь в июле их количество на 28 % было выше средней многолетней нормы.

По нашим оценкам, приведенным в табл. 1, общий уровень антиоксидантной активности (АОА) этанольных экстрактов из плодов исследуемых таксонов голубики, выраженный в мкмоль экв. тролокса / г сухого вещества, варьировался в годы исследований в рамках эксперимента при 10- и 30-минутных экспозициях в весьма широких, но примерно сопоставимых между собой, особенно у сортов *V. corymbosum*, диапазонах значений, составлявших у *V. angustifolium* 50,4–95,3 и 62,2–122,5, у сорта Northcountry – 56,6–98,4 и 73,2–148,1, у сорта Northblue – 59,2–113,0 и 75,2–144,3 соответственно. Сравнительная сопоставимость у опытных объектов приведенных диапазонов варьирования данного признака косвенно свидетельствовала о слабом влиянии на него генотипа опытных растений, тогда как их значительная ширина указывала на существенную его зависимость от основных абиотических факторов – эдафического и метеорологических.

Таблица 1. Антиоксидантная активность этанольных экстрактов из плодов голубики в опытной культуре в годы исследований, мкмоль экв. тролокса/г сухого вещества

Table 1. Antioxidant activity of ethanol extracts from blueberries in an experimental culture during the years of research, mcmol equiv of trolox/g of dry matter

Вариант опыта	АОА (ДФПГ) через 10 мин		АОА (ДФПГ) через 30 мин	
	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_x$	<i>t</i>
<i>V. angustifolium</i>				
2017 г.				
1	50,4 ± 1,2	–	62,2 ± 1,0	–
2	55,5 ± 1,1	3,1*	71,7 ± 1,0	6,9*
3	57,8 ± 0,8	5,1*	76,1 ± 0,1	14,1*
4	95,3 ± 0,8	31,0*	122,5 ± 0,7	51,1*
5	67,8 ± 5,1	3,3*	88,7 ± 4,8	5,3*
6	70,2 ± 5,5	3,5*	95,7 ± 3,0	10,7*

Окончание табл. 1
End of the table 1

Вариант опыта	АОА (ДФПГ) через 10 мин		АОА (ДФПГ) через 30 мин	
	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t
2018 г.				
1	68,2 ± 0,7	—	87,2 ± 0,4	—
2	65,8 ± 0,2	-3,5*	80,3 ± 1,3	-4,9*
3	70,7 ± 3,8	0,6	89,3 ± 0,7	2,6
4	72,1 ± 1,0	3,2*	91,0 ± 1,1	3,2*
5	84,6 ± 0,9	14,9*	128,3 ± 10,8	3,8*
6	68,2 ± 0,5	0	85,0 ± 0,2	-4,4*
Сорт Northcountry				
2017 г.				
1	66,3 ± 0,1	—	83,7 ± 1,7	—
2	64,9 ± 0,6	-2,3	94,7 ± 0,9	5,7*
3	93,2 ± 4,3	6,3*	148,1 ± 10,5	6,0*
4	56,6 ± 0,9	-10,5*	73,2 ± 1,2	-5,1*
5	82,9 ± 1,0	16,9*	117,0 ± 5,0	6,3*
6	67,7 ± 1,7	0,8	87,9 ± 1,0	2,1
Вариант опыта	АОА (ДФПГ) через 10 мин		АОА (ДФПГ) через 30 мин	
	$\bar{x} \pm s_x$	t	$\bar{x} \pm s_x$	t
2018 г.				
1	98,4 ± 2,0	—	124,3 ± 2,1	—
2	77,7 ± 1,0	-9,4*	97,8 ± 2,8	-7,6*
3	68,0 ± 1,3	-12,8*	86,4 ± 0,5	-17,8*
4	71,3 ± 0,4	-13,5*	92,3 ± 0,2	-15,4*
5	69,6 ± 0,2	-14,5*	89,8 ± 0,8	-15,4*
6	82,4 ± 2,8	-4,7*	99,9 ± 2,9	-6,9*
Сорт Northblue				
2017 г.				
1	113,0 ± 1,3	—	144,3 ± 2,0	—
2	59,6 ± 0,8	-35,4*	75,2 ± 0,2	-34,8*
3	77,1 ± 0,7	-24,6*	92,4 ± 5,4	-9,0*
4	73,2 ± 0,7	-27,1*	97,3 ± 1,4	-19,5*
5	62,7 ± 7,1	-7,0*	82,8 ± 7,1	-8,4*
6	63,2 ± 1,4	-26,6*	88,2 ± 1,0	-25,2*
2018 г.				
1	59,2 ± 1,3	—	76,1 ± 1,4	—
2	60,2 ± 1,3	0,5	77,5 ± 0,8	0,8
3	77,7 ± 1,8	8,4*	98,1 ± 1,2	11,7*
4	87,2 ± 6,7	4,1*	117,6 ± 9,4	4,4*
5	84,5 ± 0,2	18,7*	108,6 ± 0,4	21,8*
6	78,4 ± 3,8	4,8*	97,1 ± 1,4	10,3*

* Статистически значимые по t -критерию Стьюдента различия с контролем при $p < 0,05$.

Результаты повариквантного определения уровня активности окислительно-восстановительных ферментов в сухом веществе плодов опытных растений приведены в табл. 2. Из нее следует, что значения исследуемого показателя в плодах *V. angustifolium*, а также сортов *V. corymbosum* Northcountry и Northblue в годы наблюдений варьировались в рамках эксперимента в соответствующих диапазонах значений: для КАТ – 0,45–4,35; 0,42–16,72 и 0,39–3,86 мкмоль $H_2O_2/(г\cdot мин)$, ПО – 0,42–1,34; 0,42–4,94 и 0,39–3,63 ед. опт. плотн/(г·мин), ПФО – 3,08–7,07; 2,43–6,80 и 2,41–5,64 ед. опт. плотн/(г·мин). Как видим, в ряду опытных таксонов голубики наиболее высоким уровнем активности КАТ и ПО характеризовался сорт Northcountry, ПФО – *V. angustifolium*, тогда как наименьшими значениями данного показателя для КАТ и ПФО – сорт Northblue, для ПО – *V. angustifolium*. Выявленная у опытных объектов несопоставимость приведенных диапазонов, в отличие от таковых для общего уровня АОА, свидетельствовала о существенном влиянии на исследуемые показатели генотипа опытных растений. Вместе с тем значительная ширина данных диапазонов косвенно указывала на зависимость ферментативной активности в плодах голубики от основных абиотических факторов – эдафического и метеорологических.

Таблица 2. Активность окислительно-восстановительных ферментов в плодах голубики в опытной культуре в годы исследований (в сухом веществе)**Table 2. The activity of redox enzymes in blueberries fruits in an experimental culture during the years of research (in dry matter)**

Вариант опыта	Активность КАТ, мкмоль $H_2O_2/(г\cdot мин)$		Активность ПО, ед. опт. плотн/(г·мин)		Активность ПФО, ед. опт. плотн/(г·мин)	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t
<i>V. angustifolium</i>						
2017 г.						
1	1,68 ± 0,05	—	0,46 ± 0,01	—	3,08 ± 0,17	—
2	4,35 ± 0,14	18,2*	1,34 ± 0,04	21,6*	4,44 ± 0,01	7,8*
3	1,17 ± 0,07	-5,9*	0,42 ± 0,01	-6,9*	7,07 ± 0,01	23,0*
4	0,45 ± 0,05	-18,6*	0,42 ± 0,01	-5,5*	4,21 ± 0,14	5,0*
5	1,72 ± 0,09	0,4	0,48 ± 0,01	2,4	5,08 ± 0,14	8,9*
6	0,53 ± 0,07	-13,8*	0,58 ± 0,01	18,5*	5,16 ± 0,01	12,0*
2018 г.						
1	2,44 ± 0,08	—	0,83 ± 0,01	—	3,65 ± 0	—
2	1,20 ± 0,13	-7,9*	0,55 ± 0,01	-59,4*	3,42 ± 0,06	-4,0*
3	3,14 ± 0,08	6,3*	0,88 ± 0,01	3,9*	3,70 ± 0,06	0,9
4	0,71 ± 0,06	-17,5*	0,50 ± 0,01	-70,0*	3,54 ± 0,06	-1,9
5	0,62 ± 0,07	-17,3*	0,44 ± 0,01	-84,1*	3,36 ± 0,06	-5,0*
6	3,37 ± 0,11	6,8*	1,22 ± 0,01	52,3*	3,71 ± 0,06	1,0
Сорт Northcountry						
2017 г.						
1	7,21 ± 0,27	—	0,72 ± 0,01	—	2,75 ± 0,03	—
2	16,72 ± 0,24	26,4*	2,67 ± 0,05	37,1*	2,43 ± 0,01	-11,1*
3	9,57 ± 0,06	8,7*	1,63 ± 0,01	86,0*	1,90 ± 0,01	-29,4*
4	0,42 ± 0,02	-25,5*	0,42 ± 0,01	-44,5*	5,08 ± 0,01	80,1*
5	2,41 ± 0,09	-17,2*	0,44 ± 0,01	-41,5*	4,13 ± 0,01	47,4*
6	4,31 ± 0,16	-9,4*	2,86 ± 0,02	89,9*	5,60 ± 0,16	17,9*
2018 г.						
1	4,24 ± 0,09	—	2,97 ± 0,03	—	6,80 ± 0,00	—
2	1,05 ± 0,07	-28,2*	1,96 ± 0,02	-28,5*	3,45 ± 0,17	-19,3*
3	1,35 ± 0,02	-31,5*	0,61 ± 0,01	-72,9*	4,16 ± 0,16	-16,5*
4	2,41 ± 0,12	-12,3*	0,84 ± 0,01	-65,8*	3,27 ± 0,17	-20,3*
5	1,78 ± 0,10	-18,9*	0,99 ± 0,01	-60,0*	3,99 ± 0,05	-54,1*
6	3,26 ± 0,30	-3,2*	4,94 ± 0,05	31,2*	2,71 ± 0,17	-24,1*
Сорт Northblue						
2017 г.						
1	3,07 ± 0,21	—	2,06 ± 0,03	—	4,77 ± 0,03	—
2	2,90 ± 0,19	-0,6	1,57 ± 0,02	-12,7*	5,27 ± 0,02	12,9*
3	0,39 ± 0,06	-12,2*	0,50 ± 0,01	-47,4*	3,75 ± 0,01	-33,4*
4	0,92 ± 0,05	-10,0*	1,88 ± 0,03	-4,0*	4,10 ± 0,13	-4,9*
5	0,90 ± 0,10	-9,3*	0,39 ± 0,01	-50,2*	3,53 ± 0,01	-40,6*
6	1,22 ± 0,08	-8,2*	2,12 ± 0,01	1,8	5,64 ± 0,13	6,5*
2018 г.						
1	0,79 ± 0,12	—	3,52 ± 0,01	—	2,41 ± 0,00	—
2	2,16 ± 0,09	9,3*	0,64 ± 0,01	-93,6*	2,81 ± 0,02	17,0*
3	1,53 ± 0,21	3,1*	3,63 ± 0,02	4,1*	2,91 ± 0,06	8,2*
4	0,67 ± 0,05	-0,9	2,71 ± 0,01	-48,0*	3,41 ± 0,06	17,3*
5	1,29 ± 0,06	3,9*	0,52 ± 0,02	-92,1*	2,91 ± 0,14	3,7*
6	3,86 ± 0,26	10,6*	2,77 ± 0,02	-33,3*	3,16 ± 0,06	13,0*

* Статистически значимые по t-критерию Стьюдента различия с контролем при $p < 0,05$.

Представление о степени влияния экстремальных погодных условий сезона 2018 г. на общий уровень АОА этанольных экстрактов из плодов голубики, а также на активность основных ферментов окислительно-восстановительного цикла в рамках полевого опыта можно составить на основании табл. 3. Так, для *V. angustifolium* было показано усиление на 19–536 %, по сравнению с предыдущим сезоном, активности ПО и КАТ в контроле, а также в вариантах опыта с внесением АгроМика, 50 %-ного МакЛорса и $N_{16}P_{16}K_{16}$, наиболее существенное в двух последних случаях, и ее ослабление

на 8–72 % при использовании 10 %-ного МаклоРа и Бактопина. При этом незначительная активизация ПФО наблюдалась лишь в контроле, тогда как на фоне всех испытываемых агроприемов отмечено снижение активности данного фермента на 16–48 %. Это сопровождалось повышением общего уровня антиоксидантной активности этанольных экстрактов во всех вариантах опыта, за исключением вариантов с использованием АгроМика и $N_{16}P_{16}K_{16}$, на 19–35 %, наиболее значительное в контроле, что согласовывалось с усилением в нем работы всех трех окислительно-восстановительных ферментов. Подобное сходство в изменении уровня АOA, активности КАТ и ПО под влиянием экстремальных погодных условий сезона 2018 г. было отмечено лишь на фоне внесения 50 %-ного МаклоРа, тогда как в остальных вариантах опыта направленность изменений АOA и активности ферментов в основном носила противоположный характер.

Как следует из табл. 3, в плодах сорта Northcountry одновременная активизация ПО и ПФО на 147–312 %, относительно предыдущего сезона, имела место только в контроле, тогда как в обоих вариантах опыта с использованием удобрения МаклоР отмечено лишь усиление активности ПФО на 42–119 % при ослаблении таковой ПО и КАТ на 27–94 %. При внесении же $N_{16}P_{16}K_{16}$, Бактопина и АгроМика, напротив, наблюдалась активизация ПО на 73–125 % на фоне ослабления на 3–52 % активности ПФО и КАТ. Лишь в единичном случае – при внесении АгроМика – отмечено существенное усиление активности последней, по сравнению с предыдущим сезоном, достигавшее 473 %. При этом, как и у *V. angustifolium*, в условиях сезона 2018 г. только в контроле активизация работы ПО и ПФО сопровождалась наибольшим в эксперименте увеличением относительно предыдущего сезона уровня АOA (на 49 %). Менее значительное увеличение последнего (на 20–26 %) во 2-м, 4-м и 6-м вариантах опыта сочеталось в первом случае с активацией ПФО, во втором случае – КАТ и ПО, в третьем случае – ПО. В вариантах опыта с внесением 50 %-ного МаклоРа и Бактопина аналогично-го синхронизма в изменении антиоксидантной и ферментативной активности на фоне погодных условий сезона 2018 г. выявлено не было.

Таблица 3. Межсезонные (2018/2017 гг.) различия характеристик антиоксидантного комплекса плодов опытных таксонов голубики, %

Table 3. Interseasonal (2018/2017) differences in the characteristics of the antioxidant complex of fruits of experimental blueberries taxa, %

Показатель	Вариант опыта					
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
<i>V. angustifolium</i>						
АОА (ДФПГ) через 10 мин	+35,3	+18,6	+22,3	-24,3	+24,8	–
АОА (ДФПГ) через 30 мин	+40,2	+12,0	+17,3	-25,7	+44,6	-11,2
Активность КАТ	+45,2	-72,4	+168,4	+57,8	-64,0	+535,9
Активность ПО	+80,4	-59,0	+109,5	+19,1	-8,3	+110,3
Активность ПФО	+18,5	-23,0	-47,7	-15,9	-33,9	-28,1
Сорт Northcountry						
АОА (ДФПГ) через 10 мин	+48,4	+19,7	-27,0	+26,0	-16,0	+21,7
АОА (ДФПГ) через 30 мин	+48,5	–	-41,7	+26,1	-23,2	+13,7
Активность КАТ	-41,2	-93,7	-85,9	+473,8	-26,1	-24,4
Активность ПО	+312,5	-26,6	-62,6	+100,0	+125,0	+72,7
Активность ПФО	+147,3	+42,0	+119,0	-35,6	-3,4	-51,6
Сорт Northblue						
АОА (ДФПГ) через 10 мин	-47,6	–	–	+19,1	+34,8	+24,1
АОА (ДФПГ) через 30 мин	-47,3	–	+6,2	+20,9	+31,2	+10,1
Активность КАТ	-74,3	-25,5	+292,3	-27,2	+43,3	+216,4
Активность ПО	+70,9	-59,2	+626,0	+44,2	+33,3	+30,7
Активность ПФО	-49,5	-46,7	-22,4	-16,8	-17,6	-44,0

Примечание. Прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий при $p < 0,05$.

Для плодов сорта Northblue, как и для таковых *V. angustifolium*, было показано снижение на 26–59 %, по сравнению с предыдущим сезоном, активности всех трех исследуемых ферментов при использовании 10 %-ного МаклоРа на фоне существенной активизации ПО (на 31–626 %) и КАТ (на 43–292 %) при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$, а также 50 %-ного МаклоРа и Бактопина при ингибиции на 17–49 % ПФО во всех вариантах опыта (см. табл. 3). При этом только в контроле и при применении АгроМика наблюдалось усиление активности ПО на 33–71 % при одновременном ослаблении таковой

ПФО и КАТ. Что касается антиоксидантной активности, то наиболее значительным ее увеличением, по сравнению с предыдущим сезоном (на 19–35 %), сочетавшимся с активизацией ПО и КАТ, были отмечены 4-й, 5-й и 6-й варианты опыта. В остальных же случаях подобной согласованности в изменении уровня антиоксидантной и ферментативной активности плодов голубики на фоне экстремальных погодных условий сезона 2018 г., относительно предыдущего сезона с его близким к средней климатической норме гидротермическим режимом, установлено не было (см. табл. 3).

Несмотря на явные генотипические различия в характере ответной реакции антиоксидантного комплекса опытных растений на воздействие метеорологических факторов, выявлена определенная общность тенденций в изменении его характеристик в ряде вариантов опыта. Так, независимо от генотипа растений, чрезвычайно жаркая и засушливая погода второго сезона способствовала активизации ПО на 19–313 % в контроле и в вариантах с внесением жидкого АгроМика и $N_{16}P_{16}K_{16}$ при ослаблении на 26–94 % активности данного фермента, как и КАТ, при использовании 10 %-ного МаклоРа и снижении на 16–52 % активности ПФО на фоне внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$, АгроМика и Бактопина (см. табл. 3).

Вместе с тем в плодах *V. angustifolium* и сорта Northblue в ряде вариантов опыта были выявлены сходные, но при этом противоположные с сортом Northcountry изменения ферментативной активности. Так, если в первом случае при внесении 10 %-ного МаклоРа было показано ослабление на 23–47 % активности ПФО, то во втором, напротив, ее увеличение на 42 %. Использование же 50 %-ного МаклоРа способствовало активизации в плодах *V. angustifolium* и особенно сорта Northblue ПО и КАТ соответственно на 110–626 % и 168–292 % при ингибиции их активности на 63–86 % у сорта Northcountry. При этом у последнего наблюдалось усиление на 119 % активности ПФО при ее ослаблении на 22–48 % у первой пары таксонов голубики. Наряду с этим у *V. angustifolium* и сорта Northcountry также были установлены сходные, но при этом противоположные с сортом Northblue изменения активности КАТ. Так, в плодах *V. angustifolium* и сорта Northcountry отмечено ее увеличение на 58–474 % на фоне внесения АгроМика и снижение на 26–64 % при использовании Бактопина, тогда как для сорта Northblue была показана обратная картина с соответствующим изменением активности данного фермента – ослаблением на 27 % в первом случае и усилением на 43 % во втором (см. табл. 3).

Одновекторный характер изменений активности всех трех исследуемых ферментов при аномально высоких температурах воздуха и дефиците влаги в 2018 г., по сравнению с типичным для региона сочетанием погодных условий в 2017 г., в основном наблюдался в плодах *V. angustifolium*. При этом в контроле установлено ее увеличение на 19–80 %, наиболее значительное у ПО, тогда как при использовании Бактопина и 10 %-ного МаклоРа, напротив, отмечено снижение данного показателя на 8–72 %, наиболее существенное у КАТ. Заметим, что в последнем случае аналогичный эффект имел место и в плодах сорта Northblue. В большинстве же вариантов опыта отчетливо прослеживался антагонизм в направленности изменений активности отдельных ферментов. Например, у *V. angustifolium* на фоне испытываемых агроприемов, за исключением вышеуказанных, активизация ПО и КАТ сопровождалась ингибированием активности ПФО. Аналогичная картина наблюдалась также у сорта Northcountry при внесении АгроМика, у сорта Northblue – при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$, а также 50 %-ного МаклоРа и Бактопина. При этом у первого таксона в обоих вариантах опыта с использованием удобрения МаклоР данная закономерность обретала противоположный характер – снижение активности ПО и КАТ сопровождалось активизацией ПФО. В отдельных вариантах опыта – у сорта Northcountry при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ и Бактопина, а у сорта Northblue в контроле и при использовании АгроМика антагонизм в изменении активности ферментов проявлялся в активизации ПО при ингибировании ПФО и КАТ. При этом у сорта Northcountry активизация ПО и ПФО в контроле сопровождалась ингибированием КАТ.

Что касается сходства в изменении уровня АOA и ферментативной активности плодов у опытных таксонов голубики на фоне экстремальных погодных условий сезона 2018 г., то в этом случае только в контрольном варианте опыта проявилась общность тенденций у *V. angustifolium* и сорта Northcountry, состоявшая в синхронном увеличении данного показателя и активности ферментов ПО и ПФО (см. табл. 3). Сходный характер у сортов Northcountry и Northblue имело повышение уровня АOA и активности ПО на фоне внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$ и жидкого удобрения АгроМик. Наряду с этим у *V. angustifolium* и сорта Northblue при использовании 50 %-ного МаклоРа наблюдалось повышение уровня АOA, сопряженное с увеличением активности ПО и КАТ.

Вместе с тем, независимо от погодных условий вегетационного периода, было установлено существенное влияние испытываемых агроприемов на уровень АOA и ферментативную активность плодов голубики, наиболее объективное представление о котором в двухлетнем цикле наблюдений можно составить на основании табл. 4. В близких к средней климатической норме погодных условиях сезона 2017 г. в ряде вариантов опыта с внесением удобрений установлено заметное сходство между *V. angustifolium* и сортом Northcountry в направленности изменений активности КАТ и ПО, состоявшее

в ее увеличении, по сравнению с контролем, соответственно на 132–159 и 191–271 % в варианте с внесением 10 %-ного МакЛоРа и в снижении на 73–94 и 9–42 % при использовании жидкого препарата АгроМик. При этом у данных таксонов голубики отмечены разнонаправленные изменения активности этих ферментов на фоне внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$ – снижение на 40–69 % в первом случае и увеличение на 26–297 % во втором. Наряду с этим для *V. angustifolium* и сорта Northcountry было показано увеличение активности ПФО на 37–68 и 50–104 % относительно контроля в 4-м, 5-м и 6-м вариантах опыта с внесением $N_{16}P_{16}K_{16}$, АгроМика, и Бактопина, тогда как на фоне применения 10 и 50 %-ного МакЛоРа выявлены противоположные по знаку изменения активности данного фермента – позитивные в первом случае и негативные во втором.

Таблица 4. Относительные различия с контролем вариантов полевого опыта с внесением удобрений по характеристикам антиоксидантного комплекса плодов голубики в годы исследований, %

Table 4. Relative differences with the control of field experiment options with the introduction of fertilizers according to the characteristics of the antioxidant complex of blueberries fruits in the research years, %

Показатель	Вариант опыта				
	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й
	<i>V. angustifolium</i>				
2017 г.					
АОА (ДФПГ) через 10 мин	+10,1	+14,7	+89,1	+34,5	+39,3
АОА (ДФПГ) через 30 мин	+15,3	+22,3	+96,9	+42,6	+53,9
Активность КАТ	+158,9	-30,4	-73,2	–	-68,5
Активность ПО	+191,3	-8,7	-8,7	–	+26,1
Активность ПФО	+44,2	+129,5	+36,7	+64,9	+67,5
2018 г.					
АОА (ДФПГ) через 10 мин	-3,5	–	+5,7	+24,0	–
АОА (ДФПГ) через 30 мин	-7,9	–	+4,4	+47,1	-2,5
Активность КАТ	-50,8	+28,7	-70,9	-74,6	+38,1
Активность ПО	-33,7	+6,0	-39,8	-47,0	+47,0
Активность ПФО	-6,3	–	–	-7,9	–
Сорт Northcountry					
2017 г.					
АОА (ДФПГ) через 10 мин	–	+40,6	-14,6	+25,0	–
АОА (ДФПГ) через 30 мин	+13,1	+76,9	-12,5	+39,8	–
Активность КАТ	+131,9	+32,7	-94,2	-66,6	-40,2
Активность ПО	+270,8	+126,4	-41,7	-38,9	+297,2
Активность ПФО	-11,6	-30,9	+84,7	+50,2	+103,6
2018 г.					
АОА (ДФПГ) через 10 мин	-21,0	-30,9	-27,5	-29,3	-16,3
АОА (ДФПГ) через 30 мин	-21,3	-30,5	-25,7	-27,8	-19,6
Активность КАТ	-75,2	-68,2	-43,2	-58,0	-23,1
Активность ПО	-34,0	-79,5	-71,7	-66,7	+66,3
Активность ПФО	-49,3	-38,8	-51,9	-41,3	-60,1
Сорт Northblue					
2017 г.					
АОА (ДФПГ) через 10 мин	-47,3	-31,8	-35,2	-44,5	-44,1
АОА (ДФПГ) через 30 мин	-47,9	-36,0	-32,6	-42,6	-38,9
Активность КАТ	–	-87,3	-70,0	-70,7	-60,3
Активность ПО	-23,8	-75,7	-8,7	-81,1	–
Активность ПФО	+10,5	-21,4	-14,0	-26,0	+18,2
2018 г.					
АОА (ДФПГ) через 10 мин	–	+31,3	+47,3	+42,7	+32,4
АОА (ДФПГ) через 30 мин	–	+28,9	+54,5	+42,7	+27,6
Активность КАТ	+173,4	+93,7	–	+63,3	+388,6
Активность ПО	-81,8	+3,1	-23,0	-85,2	-21,3
Активность ПФО	+16,6	+20,7	+41,5	+20,7	+31,1

Примечание. Прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с контролем при $p < 0,05$.

В отличие от данных таксонов голубики, для сорта Northblue на фоне погодных условий сезона 2017 г. в большинстве вариантов опыта было показано снижение на 9–87 %, по сравнению с контролем, активности всех трех исследуемых ферментов, особенно ПО и КАТ, проявившееся в наибольшей степени при использовании 50 %-ного МакЛоРа и Бактопина. Лишь при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ и 10 %-ного МакЛоРа отмечено незначительное (на 11–18 %) усиление активности ПФО при отсутствии в этих вариантах опыта достоверных различий с контролем активности ПО в первом случае и КАТ во втором (см. табл. 4).

Что касается антиоксидантной активности, то в характере ее изменений на фоне испытываемых агроприемов в типичных для региона погодных условиях сезона 2017 г. также были установлены существенные генотипические различия. Так, если для *V. angustifolium* было показано ее увеличение на 10–89 % относительно контроля, наиболее значительное при внесении АгроМика, то у сорта Northcountry аналогичный, но менее заметный эффект установлен лишь при использовании 50 %-ного МакЛоРа и Бактопина. При этом у сорта Northblue во всех вариантах опыта с внесением удобрений наблюдалось снижение АОА на 32–47 %, коррелировавшее с показанным выше ослаблением в плодах активности исследуемых ферментов (см. табл. 4). Заметим, что у *V. angustifolium* наличие подобной взаимосвязи в изменении антиоксидантной и ферментативной активности установлено во всех вариантах опыта для ПФО, а при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ и 10 %-ного МакЛоРа – также для ПО и КАТ. У сорта Northcountry согласованное увеличение АОА и активности двух последних ферментов наблюдалось лишь при использовании обеих концентраций МакЛоРа, тогда как в отношении ПФО это имело место лишь на фоне применения Бактопина.

Нетрудно убедиться, что и антиоксидантная, и ферментативная активность плодов голубики в эксперименте в значительной мере определялась гидротермическим режимом вегетационного периода, оказывавшим также существенное влияние на изменение данных показателей под действием испытываемых агроприемов. Если на фоне близких к средней многолетней норме погодных условий сезона 2017 г. у *V. angustifolium* последние способствовали усилинию, по сравнению с контролем, преимущественно активности ПФО, а у сорта Northcountry таковой ПО и КАТ во 2-м и 3-м вариантах опыта и ПФО – в 4-м, 5-м и 6-м, то повышенный температурный фон второго сезона при дефиците влаги обусловил существенное (на 21–80 %) подавление в их плодах активности данных ферментов в большинстве вариантов опыта с внесением удобрений при менее выраженном его проявлении у *V. angustifolium*. Замечено, что у последней при внесении 50 %-ного МакЛоРа и особенно $N_{16}P_{16}K_{16}$ наблюдалось усиление активности и ПО, и КАТ на 6–47 %, по сравнению с контролем, тогда как у сорта Northcountry усиление активности ПО имело место лишь в единичном случае – при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ (см. табл. 4).

В отличие от данных таксонов голубики, для сорта Northblue в экстремальных погодных условиях сезона 2018 г. на фоне всех испытываемых агроприемов было показано, напротив, существенное усиление активности ПФО и особенно КАТ, по сравнению с контролем, на 17–42 и 63–389 % соответственно, наиболее значительное в первом случае при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ и АгроМика, тогда как во втором случае – при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$, а также при использовании 10 %-ного МакЛоРа. Вместе с тем в большинстве вариантов опыта с внесением удобрений наблюдалось сохранение установленного годом ранее ингибирования активности ПО на 21–85 %, по сравнению с контролем, наиболее значительного при использовании 10 %-ного МакЛоРа, а также Бактопина.

Обращает на себя внимание, что на фоне экстремальных погодных условий сезона 2018 г. большинство испытываемых агроприемов не оказалось существенного влияния на уровень АОА в плодах *V. angustifolium*, и лишь при внесении Бактопина отмечено его противоположное с изменением ферментативной активности повышение на 24 % относительно контроля. В отличие от узколистного вида голубики, у обоих сортов *V. corymbosum* внесение удобрений в данном сезоне способствовало весьма значительному изменению в их плодах уровня АОА – снижению на 16–31 % у сорта Northcountry и увеличению на 31–47 % у сорта Northblue при выраженному проявлении согласованности с изменением активности всех трех ферментов в первом случае и изменением таковой КАТ и ПФО – во втором.

Несмотря на показанные выше межсезонные различия в изменении активности окислительно-восстановительных ферментов в плодах голубики под действием удобрений, в ряде случаев, особенно у сортов *V. corymbosum*, в направленности данных изменений в оба сезона были выявлены наиболее устойчивые, причем аналогичные тенденции. Так, независимо от погодных условий вегетационного периода, для *V. angustifolium* было показано ослабление активности КАТ и ПО при применении АгроМика при усиении последней при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$, тогда как для сорта Northcountry аналогичное ослабление активности данной пары ферментов установлено не только на фоне внесения АгроМика, но и Бактопина, а также снижение активности КАТ при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ и ПФО в обоих вариантах опыта с использованием удобрения МакЛоР. Для сорта Northblue заметной устойчивостью в годы наблюдений характеризовалось ингибирование ПО в вариантах опыта с внесением 10 %-ного

МаклоРа, АгроМика и Бактопина, а также усиление активности ПФО на фоне внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$ и 10 %-ного МаклоРа.

Заключение. В результате сравнительного исследования в опытной культуре на рекультивируемом участке выбывшего из промышленной эксплуатации торфяного месторождения верхового типа на севере Беларуси влияния полного минерального и микробных удобрений МаклоР, АгроМик и Бактопин на антиоксидантную и ферментативную (ПО, ПФО, КАТ) активность плодов *V. angustifolium* и сортов *V. corymbosum* Northcountry и Northblue установлено существенное влияние погодных условий вегетационного периода и генотипа опытных растений не только на уровень антиоксидантной и ферментативной активности в плодах голубики, но и на приоритетное значение отдельных энзимов в метаболических процессах на фоне испытываемых агроприемов.

Вместе с тем, независимо от погодных условий вегетационного периода, в характере ответной реакции растений голубики на внесение удобрений, установлена общность тенденций в изменении активности окислительно-восстановительных ферментов в контроле, при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$, жидкого АгроМика, а также Бактопина и 10 %-ного МаклоРа. При этом в последнем случае у *V. angustifolium* и сорта Northblue выявлены противоположные с сортом Northcountry изменения активности ПФО, тогда как для ПО и КАТ подобное явление наблюдалось при использовании 50 %-ного МаклоРа. В плодах *V. angustifolium* и сорта Northcountry выявлены противоположные с сортом Northblue изменения активности КАТ на фоне внесения АгроМика и Бактопина. Установлено, что одновекторный характер изменений активности всех трех ферментов окислительно-восстановительного цикла наблюдался преимущественно в плодах *V. angustifolium* при ее увеличении в контроле и снижении при внесении 10 %-ного МаклоРа и Бактопина. В остальных случаях выявлен антагонизм в направленности изменений активности ПО и КАТ, с одной стороны, и ПФО – с другой, проявлявшийся у *V. angustifolium* в других вариантах опыта, тогда как у сорта Northcountry – при использовании АгроМика, у сорта Northblue – при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$, а также 50 %-ного МаклоРа и Бактопина. Показано, что у сорта Northcountry в последнем случае и при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$, а у сорта Northblue в контроле и при использовании АгроМика подобный антагонизм обнаружен между ПО, с одной стороны, и ПФО и КАТ – с другой.

Несмотря на существенные межсезонные различия в изменении активности окислительно-восстановительных ферментов в плодах голубики под действием удобрений, в ряде случаев, особенно у сортов *V. corymbosum*, в направленности данных изменений в оба сезона выявлены наиболее устойчивые, причем аналогичные тенденции. Так, независимо от погодных условий вегетационного периода, для *V. angustifolium* при применении АгроМика было показано ослабление активности КАТ и ПО при усиливении последней при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$. Для сорта Northcountry аналогичное ослабление активности данной пары ферментов установлено на фоне внесения АгроМика и Бактопина, тогда как при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ наблюдалось снижение активности КАТ, а также ПФО в обоих вариантах опыта с использованием удобрения МаклоР. Для сорта Northblue заметным постоянством проявления в годы наблюдений характеризовалось ингибирование ПО при внесении АгроМика, а также при использовании 10 %-ного МаклоРа и Бактопина, сопровождавшееся усилением активности ПФО на фоне внесения $N_{16}P_{16}K_{16}$ и 10 %-ного МаклоРа.

Список использованных источников

1. Алещенкова, З. М. Микробные удобрения для стимуляции роста и развития растений / З. М. Алещенкова // Наука и инновации. – 2015. – № 8 (150). – С. 66–67.
2. Соловьева, Е. А. Микробный препарат АгроМик для стимуляции роста и развития тритикале / Е. А. Соловьева, Т. Л. Савчиц, З. М. Алещенкова, В. Н. Буштевич // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты : сб. науч. тр. / Ин-т микробиол. НАН Беларуси, Белорус. респ. фонд фундаментальных исслед., Белорус. общ-ое объединение микробиол.; под ред. Э. И. Коломиец, А. Г. Лобанка. – Минск : Беларуская наука, 2013. – С. 331–342.
3. Рупасова, Ж. А. Генотипические и возрастные различия текущего прироста генеративных растений голубики на фоне внесения минеральных и микробных удобрений на выработанных торфяных месторождениях / Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев, М. Н. Ващекевич, С. П. Антохина, А. А. Ярошук, И. В. Савосько, Л. В. Гончарова, З. М. Алещенкова, Э. И. Коломиец // Бюллетень ГБС РАН. – 2018. – Вып. 204, № 2. – С. 44–59.
4. Рупасова, Ж. А. Влияние минеральных и микробных удобрений на параметры плодоношения и содержание органических кислот в плодах голубики на выработанном участке торфяного месторождения на севере Беларуси / Ж. А. Рупасова, А. П. Яковлев, З. М. Алещенкова, Э. И. Коломиец, П. Н. Бельй, А. М. Николайчук, М. Н. Ващекевич, И. В. Савосько // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. – 2017. – № 4. – С. 100–106.
5. Возделывание голубики на торфяных выработках Припятского Полесья : физиолого-биохимические аспекты развития / Ж. А. Рупасова [и др.] – Минск : Беларуская наука, 2016. – 242 с.

6. Меныцикова, Е. Б. Антиоксиданты и ингибиторы радикальных окислительных процессов / Е. Б. Меныцикова, Н. К. Зенков // Успехи совр. биологии. – 1993. – Т. 113, № 4. – С. 442–455.
7. Медведев, С. С. Физиология растений : учебник / С. С. Медведев. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. – 336 с.
8. Антиоксидантная и антирадикальная активность *in vitro* экстрактов травы *Sanguisorba officinalis* L., собранной в различные фазы развития / Е. М. Мальцева [и др.] // Медицина в Кузбассе. – 2017. – Т. 16, № 2. – С. 32–38.
9. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activites of the essential oil and the ethanol extract of Cleistocalyx (Roxb.) Merr and Perry buds / Nguyen Thi Dung [et al.] // Food and chemical toxicology. – 2008. – Vol. 46, № 12. – P. 3632–3639.
10. Физиологические и биохимические методы анализа растений : практикум / Калинингр. ун-т ; авт.-сост. Г. Н. Чупахина. – Калининград, 2000. – 59 с.
11. Кинетические, биохимические и биологические методы анализа. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине специализации «Кинетические, биохимические и биологические методы анализа» для студентов специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» / Курганский гос. ун-т, каф. «Физическая и прикладная химия» ; сост. Л. В. Мосталыгина. – Курган, 2016. – 30 с.
12. Воскресенская, О. Л. Большой практикум по биоэкологии : учеб. пособие / О. Л. Воскресенская, Е. А. Алябышева, М. Г. Половникова. – Йошкар-Ола : Мар. гос. ун-т, 2006. – Ч. 1. – 107 с.

References

1. Aleshchenkova Z. M. *Mikrobnye udobreniya dlya stimulyacii rosta i razvitiya rastenij* [Microbial fertilizers for stimulation of plant growth and development]. *Nauka i innovacii = Science and Innovation*, 2015, no 8 (150), pp. 66–67. (in Russian)
2. Solov'eva E. A. *Mikrobnij preparat AgroMik dlya stimulyacii rosta i razvitiya tritcale* [Microbial fertilizers for stimulation of growth and development of plants]. *Mikrobnye biotekhnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty, sb. nauch. tr., In-t mikrobiol. NAN Belarusi, Belorus. resp. fond fundamental'nyh issled., Belorus. obshch-oe ob'edinenie mikrobiol.; pod red. E. I. Kolomiec, A. G. Lobanka* [Microbial biotechnology: fundamental and applied aspects: coll. sci. tr. Institute of microbiol. National Academy of Sciences of Belarus, Belarusian basic research foundation, Belarusian general association of microbial]. Minsk, Belarusian Science Publ., 2013, pp. 331–342. (in Russian)
3. Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Vashkevich M. N. et all. *Genotipcheskiye i vozrastnyye razlichiy tekushchego prirosta generativnykh rasteniy golubiki na fone vneseniya mineral'nykh i mikrobnykh udobreniy na vyrabotannykh torfyanykh mestorozhdeniyakh* [Genotypic and age-related differences in the current growth of blueberry generative plants on the background of mineral and microbial fertilizer application in depleted peat deposits]. *Byul. Glavn. Botan. sada = Bul. Main Botan. Garden*, 2018, Iss. 204, no 2, pp. 44–59. (in Russian)
4. Rupasova Zh. A., Yakovlev A. P., Aleschenkova Z. M., Kolomiets E. I., Bely P. N., Nikolaichuk A. M., Vashkevich M. N., Savosko I. V. *Vliyanie mineralnykh i mikrobnykh udobreniy na parametry plodonosheniya i soderzhanie organiceskikh kislot v plodakh golubiki na vyrabotannom uchastke torfyanogo mestorozhdeniya na severo-zapovednoy Belaruse* [Influence of mineral and microbial fertilizers on fruiting parameters and the content of organic acids in the fruits of blueberry on opencast peatland in conditions of the north of Belarus]. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya = J. Belarus. State Univ. Ecology*, 2017, no. 4, pp. 100–106. (in Russian)
5. Rupasova Zh. A. *Vozdelyvaniye golubiki na torfyanykh vyrabotkakh Pripyatskogo Poles'ya: (fiziologo-biohimicheskiye aspekty razvitiya)* [The cultivation of blueberries on peat mines of Pripyat Polesye: (physiological and biochemical aspects of development)]. Minsk, Belarus, Navuka Publ., 2016, 242 p. (in Russian).
6. Menytsikova Ye. B. *Antioksidanty i ingibitory radikal'nykh okislitel'nykh protsessov* [Antioxidants and inhibitors of radical oxidative processes]. *Uspekhi sovr. biologii = Successes of Modern Biology*, 1993, no 4, pp. 442–455. (in Russian)
7. Medvedev S. S. *Fiziologiya rasteniy* [Plant Physiology]. St. Petersburg, St. Petersburg University Press, 2004, 336 p. (in Russian)
8. Mal'tseva Ye. M. *Antioksidantnaya i antiradikal'naya aktivnost' in vitro ekstraktov travy Sanguisorba officinalis L., sobrannoy v razlichnyye fazy razvitiya* [Antioxidant and antiradical activity in vitro of the extracts of the herb *Sanguisorba officinalis* L. collected in various phases of development]. *Meditsina v Kuzbasse = Medicine in Kuzbass*, 2017, no 16, pp 32–38. (in Russian)
9. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the ethanol extract of Cleistocalyx (Roxb.) Merr and Perry buds. Under ed. Nguyen Thi Dung [et al.]. *Food and chemical toxicology*, 2008, vol. 46, no 12, pp. 3632–3639.
10. Chupakhina G. N. *Fiziologicheskiye i biohimicheskiye metody analiza rasteniy* [Physiological and biochemical methods of plant analysis]. Kaliningrad University Publ., 2000, 59 p. (in Russian)
11. Mostalygina L. V. *Kineticheskiye, biohimicheskiye i biologicheskiye metody analiza. Metodicheskiye ukazaniya k vypolneniyu laboratornykh rabot po distsipline spetsializatsii «Kineticheskiye, biohimicheskiye i biologicheskiye metody analiza» dlya studentov spetsial'nosti 04.05.01 «Fundamental'naya i prikladnaya khimiya»* [Kinetic, biochemical and biological methods of analysis. Guidelines for laboratory work in the discipline of specialization "Kinetic, biochemical and biological methods of analysis" for students majoring 04.05.01 "Fundamental and Applied Chemistry"]. Kurganskij gos. un-t, kaf. «Fizicheskaya i prikladnaya khimiya» [Kurgan state. un-t "Physical and applied chemistry"]. Kurgan, 2016, 30 p. (in Russian)
12. Voskresenskaya O. L., Alyabyshева Ye. A., Polovnikova M. G. *Bol'shoy praktikum po bioekologii* [Big workshop on bioecology. Part 1], ucheb. posobiye. Yoshkar-Ola, Mar. State un, 2006, ch. 1, 107 p. (in Russian)

Информация об авторах

Рупасова Жанна Александровна – член-корр. НАН Беларуси, д-р биол. наук, проф., зав. лаб. химии растений, ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

Яковлев Александр Павлович – канд. биол. наук, доцент, зав. лаб. экологической физиологии растений, ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

Ярошук Андрей Андреевич – мл. науч. сотр., ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: alrikdorey@mail.ru

Задаля Виктория Сергеевна – науч. сотр., ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси» (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Беларусь). E-mail: zada.93@mail.ru

Коломиец Эмилия Ивановна – член-корр. НАН Беларуси, д-р биол. наук, директор Ин-та микробиологии НАН Беларуси и Генеральный директор ГНПО «Химический синтез», зав. лаб. средств биологич. контроля (ул. Акад. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Беларусь). E-mail: kolomiets@mbio.bas-net.by

Алещенкова Зинаида Михайловна – д-р биол. наук, гл. науч. сотр., Ин-т микробиологии НАН Беларуси (ул. Акад. Купревича, 2, 220141, г. Минск, Беларусь). E-mail: aleschenkova@mbio.bas-net.by

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

Information about the authors

Zhanna A. Rupasova – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Biology), Professor, Head Lab plant chemistry, State Scientific Institution "Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus" (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: J.Rupasova@cbg.org.by

Alexandr P. Yakovlev – Ph. D. (Biology), Assistant Professor, Head Lab Environmental Physiology of Plants, State Scientific Institution "Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus" (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: A.Yakovlev@cbg.org.by

Andrey A. Yaroshuk – Junior Researcher, State Scientific Institution "Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus" (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail: alrikdorey@mail.ru

Viktoria S. Zadalia – Researcher, State Scientific Institution "Central Botanic Garden of the National Academy of Sciences of Belarus" (2v, Surganova Str., 220012, Minsk, Belarus). E-mail:zada.93@mail.ru

Emiliya I. Kolomiets – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Biology), Director of the Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus and General Director of the Scientific and Production Association "Chemical Synthesis", Head Lab means of biological control (2, Str. Acad. Kuprevich, 220141, Minsk, Belarus). E-mail: kolomiets@mbio.bas-net/by

Zinaida M. Aleshchenkova – D. Sc. (Biology), Chief Researcher, Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Kuprevich Str. 220141, Minsk, Belarus). E-mail: aleschenkova@mbio.bas-net.by

Ivan I. Lishtvan – Academician, D. Cs. (Technical), Professor, Chief Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАВШИХСЯ ЗАПАСОВ ТОРФА РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ И ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ

В. Б. Кунцевич¹, Т. И. Макаренко¹, О. М. Гайдукевич¹, И. В. Агейчик¹, Е. В. Гречко²

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

²*Узденский районный исполнительный комитет, Узда, Беларусь*

Аннотация. Статья посвящена сравнительному анализу определения оставшихся запасов торфа расчетным методом и по результатам геологической разведки (категория А). Расчетный метод учитывает первоначальный запас торфа, объем его добычи на текущий момент времени, потери торфа в случае использования залежи в сельскохозяйственных целях, его прирост при нахождении месторождения в естественном состоянии. Показано, что применение коэффициента, равного частному от деления площади в промышленных границах залежи на площадь в нулевых границах, существенно снижает погрешность в определении оставшихся запасов торфа.

Ключевые слова: запасы торфа; геологическая разведка; расчетный способ; сравнительный анализ; погрешность.

Для цитирования. Кунцевич В. Б., Макаренко Т. И., Гайдукевич О. М., Агейчик И. В., Гречко Е. В. Сравнительный анализ определения оставшихся запасов торфа расчетным методом и по результатам геологической разведки // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 243–248.

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DETERMINATION OF THE REMAINING PEAT RESERVES BASED ON THE RESULTS OF GEOLOGICAL EXPLORATION AND THE CALCULATION METHOD

V. B. Kuntsevich¹, T. I. Makarenko¹, O. M. Gaidukevich¹, I. V. Ageychik¹, E. V. Grechko²

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

²*Uzda District Executive Committee, Uzda, Belarus*

Abstract. The article is devoted to a comparative analysis of the determination of the remaining peat reserves based on the results of geological exploration (category A) and the calculation method, which takes into account the initial peat reserve, its current production volume, peat loss in case of the exploitation of the deposit for agricultural purposes, the growth of peat in natural state of peatland. It is shown that the usage of a coefficient that is equal to the quotient of dividing the area in the industrial boundaries of the reservoir by the area at zero boundaries significantly reduces the error in determining the remaining peat reserves.

Key words: reserves of peat; geological exploration; calculation method; comparative analysis; error.

For citation. Kuntsevich V. B., Makarenko T. I., Gaidukevich O. M., Ageychik I. V., Grechko E. V. The comparative analysis of the determination of the remaining peat reserves based on the results of geological exploration and the calculation method. *Nature Management*, 2019, no 2, pp. 243–248.

Определение количественных и качественных характеристик торфяных месторождений осуществляется в результате проведения геологических разведок. В зависимости от объема и задач существует несколько категорий разведывательных работ, которые отличаются между собой полнотой и степенью точности получаемого исследовательского материала. Разведка торфяных месторождений, особенно категории А, трудоемкий и длительный процесс, который требует значительных финансовых затрат. Вероятно, в этом основная причина того, что последний кадастровый справочник, подготовленный по данным натурных исследований, был издан в 1979 г. За прошедшие 40 лет многие показатели, приведенные в нем, устарели и не соответствуют действительности, в особенности это касается запасов торфа.

Сотрудниками Института природопользования НАН Беларуси при разработке нормативного документа «Схема распределения торфяников по направлениям использования на период до 2030 года» (далее – Схема) [1] применен альтернативный способ определения оставшихся запасов торфа – расчетный, по формуле

$$P_{\text{ост}} = P_{\pi} - (Q_1 + Q_2 - Q_3), \quad (1)$$

где $P_{\text{ост}}$ – оставшиеся запасы торфа при 40 %-ной влажности на текущий момент времени, тыс. т; P_{n} – первоначальные запасы торфа на момент разведки, тыс. т; Q_1 – количество добываемого торфа, тыс. т; Q_2 – потери торфа при сельскохозяйственном использовании месторождения (участка), тыс. т; Q_3 – прирост торфа при нахождении месторождения в естественном состоянии, тыс. т.

Методика определения всех составляющих, приведенных в формуле (1), изложена в статье [2].

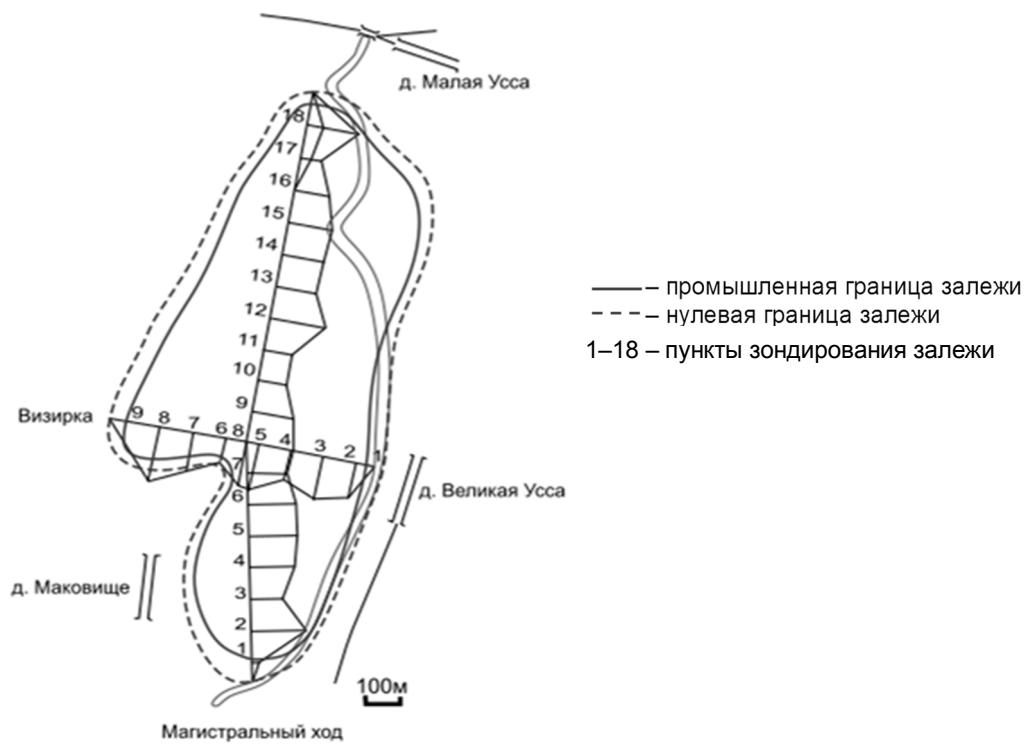
Следует отметить, что техническим заданием на разработку Схемы не предполагалось проведение каких-либо натурных исследований, а лишь предусматривалась камеральная обработка известных данных, и только в отдельных случаях отсутствующие показатели необходимо было получить по результатам разведки категории А. При этом обязательным условием являлось изучение современного состояния каждого месторождения на территории республики площадью в промышленных границах ($h \geq 0,7$ м) не менее 10 га.

Учитывая изложенное, определенный интерес представляла оценка оставшихся запасов торфа на конкретном месторождении по вышеприведенной формуле и полученными данными в соответствии с инструкцией по детальной разведке [3].

В качестве объекта исследований было выбрано торфяное месторождение (далее – т/м) «Товстуха», расположенное в Узденском районе Минской области (кадастровый номер 772).

Из материалов маршрутной разведки (категория С₂), проведенной Московским институтом «Росторфразведка» в 1952 г., установлено следующее. На момент разведки месторождение находилось близко к естественному состоянию, лишь по центру была открыта канава глубиной 1,2 м и шириной по верху 1,0 м. Площадь в нулевых границах составляла 105 га, в промышленных границах ($h = 0,7$ м) – 84 га. Залежь низинного типа, средняя степень разложения 45 %, средняя зольность – 16 %. В начале 1960-х годов на месторождении проведены болотно-подготовительные работы с целью использования его для добычи фрезерного торфа – сырья для производства компостов. Впоследствии до 1972 г. месторождение разрабатывалось, всего добыто 30 тыс. т торфа в пересчете на 40 % влажность [4]. После окончания добычи торфяная залежь использовалась в сельскохозяйственных целях: для выращивания сначала пропашных культур, а затем луговых трав. В настоящее время посевная площадь составляет 74 га, землепользователь – ОАО «Литвяны-Агро».

При проведении маршрутной разведки в 1952 г. на т/м «Товстуха» проложены магистральный ход и визирка. Расстояние между пунктами зондирования залежи составляло 100 м (см. рисунок).



План торфяного месторождения «Товстуха»

The plan of peatland “Tovstukha”

В начале декабря 2018 г. сотрудниками института природопользования НАН Беларуси совместно со специалистами землеустроительной службы Узденского райисполкома проведены натурные исследования месторождения с целью определения оставшихся запасов торфа на текущий момент времени. Пункты зондирования залежи в 2018 г. те же, что и в 1952 г. Координаты пунктов определены при помощи навигатора системы Carmin Oregon 550. В таблице приведены полученные данные о значениях глубины залежи.

Глубины залежи торфяного месторождения «Товстуха», 1952 и 2018 г.

Depths of deposit of peatland “Tovstukha”, 1952 and 2018 years

Номер пункта зондирования	Магистральный ход		Номер пункта зондирования	Визирка	
	Глубина залежи, м 1952 г.	2018 г.		Глубина залежи, м 1952 г.	2018 г.
1	0,7	0,3	1	0,5	0,3
2	3,4	2,3	2	2,2	1,6
3	2,0	1,7	3	2,4	1,8
4	2,8	2,1	4	1,8	1,2
5	3,0	1,9	5	3,0	2,4
6	3,0	2,4	6	1,6	1,2
7	2,4	1,7	7	2,5	1,8
8	2,9	2,2	8	3,5	2,7
9	2,6	1,9	9	0,7	0,4
10	1,8	1,3			
11	1,7	1,2			
12	3,4	1,7			
13	2,4	1,5			
14	2,5	1,8			
15	2,7	1,9			
16	2,2	1,6			
17	0,6	0,4			
18	2,1	0,6			

Запасы торфа, определенные в соответствии с инструкцией по детальной разведке торфяных месторождений по состоянию на 07.12.2018 г.

$$P'_{\text{ост}} = F_{\text{пр} 2018} h_{\text{ср}} \rho (100 - w_3) / (100 - w_y), \quad (2)$$

где $P'_{\text{ост}}$ – оставшиеся запасы торфа по состоянию на 07.12.2018 г., тыс. т; $F_{\text{пр} 2018}$ – площадь в границах промышленной глубины залежи в 2018 г., га; $h_{\text{ср}}$ – средняя глубина залежи в 2018 г., м; ρ – плотность залежи, т/м³; w_3 – средняя влажность залежи, %; w_y – условная влажность, %.

$$F_{\text{пр} 2018} = F_{\text{пр} 1952} n_1 / n_2, \quad (3)$$

где $F_{\text{пр} 1952}$ – площадь в границах промышленной глубины залежи в 1952 г., га; n_1 – количество точек с глубиной залежи 0,7 м и более в 2018 г.; n_2 – количество точек с глубиной залежи 0,7 м и более в 1952 г.

$$F_{\text{пр} 2018} = 84 \cdot 22 / 26 = 71 \text{ га.}$$

$$h_{\text{ср}} = 1,55 \text{ м.}$$

При степени разложения залежи низинного типа 45 % и средней влажности 83 % – $\rho = 0,895$ [5].

$$P'_{\text{ост}} = 71 \cdot 10^4 \cdot 1,55 \cdot 0,895 (100-83) / (100-40) = 279 \text{ тыс. т.}$$

Запасы торфа, определенные с учетом его добычи и потерь в результате сельскохозяйственного использования.

Первоначальный запас торфа на момент разведки (P_n) – 321 тыс. т [4].

Количество добывого торфа (Q_1) – 30 тыс. т [4].

Потери торфа при сельскохозяйственном использовании месторождения, тыс. т

$$Q_2 = q F_c T, \quad (4)$$

где $q = 8,7$ – ежегодные потери торфа 40 %-ной влажности с 1 га площади при использовании месторождения в сельском хозяйстве, т [2]; F_c – площадь, используемая в сельском хозяйстве, га; T – эксплуатационный период, лет.

$$Q_2 = 8,7 \cdot 74 \cdot 46 = 30 \text{ тыс. т.}$$

Q_3 отсутствует, так как месторождение в промышленных границах подверглось техногенному воздействию.

Подставив полученные значения в формулу (1), получим:

$$P_{\text{ост}} = 321 - (30 + 30) = 261 \text{ тыс. т.}$$

В связи с тем, что геологические запасы торфа рассчитываются для месторождения в границах промышленной глубины залежи, а доли участия площадей в нулевой и промышленной границах в общей посевной площади неизвестны, авторами статьи предложено ввести в формулу (4) коэффициент k , численно равный частному от деления промышленной площади на площадь в нулевых границах. В нашем случае первоначальная площадь в промышленных границах – 84 га, площадь в нулевых границах – 105 га. Тогда

$$Q_2 = 84 / 105 \cdot 8,7 \cdot 74 \cdot 46 = 24 \text{ тыс. т.}$$

$$P_{\text{ост}} = 321 - (30 + 24) = 267 \text{ тыс. т.}$$

Относительные ошибки, соответственно f_1 и f_2 , в определении оставшихся запасов торфа, рассчитанные по формуле (4) и с учетом коэффициента k по сравнению с базовым вариантом (геологическая разведка):

$$f_1 = (279 - 261) / 279 \cdot 100 = 6,5 \%,$$

$$f_2 = (279 - 267) / 279 \cdot 100 = 4,3 \%.$$

Согласно нормативной документации, относительная погрешность в определении запасов торфа между данными двух исполнителей не должна превышать $\pm 5\%$ [3]. По мнению авторов по аналогии указанное значение можно принять и в данном случае.

Естественно предположить, что при исследовании другого месторождения величины погрешностей будут иные, однако очевидно, что применение коэффициента дает положительный эффект.

Ниже приведен сравнительный расчет целесообразности его применения при условии определения оставшихся запасов торфа в целом по республике. При расчете использованы исходные данные, приведенные в кадастровом справочнике по состоянию на 01.01.1978 г. [4]:

- 1) площадь в нулевых границах – 2 543 780 га;
- 2) площадь в границах промышленной глубины залежи – 1 665 914 га;
- 3) первоначальный запас торфа на год разведки – 5 707 740 тыс. т.;
- 4) оставшийся геологический запас торфа – 4 923 064 тыс. т.

Площадь, используемая в сельском хозяйстве – 951 088 га [6].

Срок использования месторождений в сельскохозяйственных целях примем за 25 лет (1953–1978 гг.), так как в кадастровом справочнике приведены материалы разведок торфяных месторождений, накопленных в Госторффонде за указанный период с учетом результатов ранее проведенных натурных исследований.

По данным Госторффонда с 1953 по 1978 г. в БССР добыто 629 млн т торфа [7].

За этот же период общая убыль торфа по кадастровому справочнику составила 784 676 тыс. т. Очевидно, что помимо убыли торфа за счет добычи в это значение входят потери торфа в результате осушения залежи и использования ее в сельскохозяйственных целях, потери от торфяных пожаров и самовозгорания фрезерного торфа при хранении его в штабелях.

Потери торфа при сельскохозяйственном использовании залежи, рассчитанные по формуле (4),

$$Q_2 = 951 088 \cdot 8,7 \cdot 25 = 206 861 \text{ тыс. т.}$$

Потери торфа при сельскохозяйственном использовании залежи, рассчитанные с учетом коэффициента k ($k = 1 665 914 / 2 543 780 = 0,65$).

$$Q'_2 = 0,65 \cdot 951 088 \cdot 8,7 \cdot 25 = 134 460 \text{ тыс. т.}$$

Оставшиеся запасы торфа, определенные без учета и с учетом коэффициента:

$$P_{\text{ост}} = 5 707 740 - (629 000 + 206 861) = 4 871 879 \text{ тыс. т.}$$

$$P'_{\text{ост}} = 5 707 740 - (629 000 + 134 460) = 4 944 280 \text{ тыс. т.}$$

Разность между значениями оставшихся запасов торфа, определенных по результатам разведок и полученных расчетным путем, соответственно:

ΔP_1 (без учета коэффициента) и ΔP_2 (с учетом коэффициента).

$$\Delta P_1 = 4\ 923\ 064 - 4\ 871\ 879 = 51\ 185 \text{ тыс. т};$$

$$\Delta P_2 = |4\ 923\ 064 - 4\ 944\ 280| = 21\ 216 \text{ тыс. т}.$$

Таким образом, применение коэффициента k для расчета оставшихся запасов торфа в целом по республике позволило уменьшить ошибку в их определении на 30 млн т по абсолютной величине, принимая за истину данные, полученные в результате геологических разведок.

Следует отметить, что предложенный способ относится к категории прогнозных и не является альтернативным в случае определения запасов торфа, необходимых при разработке проекта на строительство участка в качестве сырьевой базы для торфоперерабатывающего предприятия. Однако на предпроектной стадии, когда принимается решение о разработке конкретного месторождения (участка месторождения) получение предварительных данных о запасах торфа весьма важно и точность результатов, полученных расчетным путем, по мнению авторов, достаточна.

Выводы. В кадастровом справочнике торфяного фонда Белорусской ССР, изданного в 1979 г., многие приведенные показатели в настоящее время не соответствуют действительности. Особенно это касается оставшихся запасов торфа. В то же время проведение натурных исследований для их определения – процесс дорогостоящий и трудоемкий. Авторами статьи на стадии предпроектной подготовки предложен способ установления оставшихся запасов торфа расчетным путем. При этом обязательным условием является предварительное натурное обследование (визуальный осмотр) конкретного месторождения. Сравнительный анализ, выполненный сотрудниками института природопользования совместно со специалистами землеустроительной службы Узденского райисполкома, показал, что погрешность в определении запасов торфа расчетным путем составляет 6,5 % по отношению к базовому варианту (разведка категории А).

Введение коэффициента в формулу для расчета, который равен частному от деления площади в промышленных границах залежи к площади в нулевых границах, уменьшило погрешность до 4,3 %.

Полевые исследования проведены в декабре 2018 г. на т/м «Товстуха» (кадастровый номер 772). Естественно предположить, что в случае проведения исследований на другом месторождении результаты могут быть иные, однако есть основания полагать, что с достаточной точностью оставшиеся запасы торфа могут быть определены не прибегая к натурным исследованиям.

Список используемых источников

1. Схема распределения торфянников по направлениям использования на период до 2030 года / О некоторых вопросах в области сохранения и рационального (устойчивого) использования торфянников [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30 дек. 2015 г., № 1111 ; Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21501111&p1=1>. – Дата доступа: 20.02.2017.
2. Макаренко, Т. И. Актуализация данных о запасах торфа на торфяных месторождениях расчетным методом / Т. И. Макаренко, Л. С. Лис, В. Б. Кунцевич // Природопользование. – Минск, 2015. – Вып. 27. – С. 138–143.
3. Инструкция по разведке торфяных месторождений СССР / Министерство геологии СССР ; под ред. Н. Т. Короля, В. Д. Маркова (отв. ред.), А. В. Предтеченского, А. А. Синадского, Н. А. Стеклова. – М. : Торфгеология, 1983. – 193 с.
4. Торфяной фонд Белорусской ССР : кадастровый справочник: по состоянию разведенности на 1 января 1978 г. / Управление государственного торфяного фонда «Госторффонд» при Госплане БССР. – Минск, 1979.
5. Справочник по торфу / под ред. канд. техн. наук А. В. Лазарева и д-ра техн. наук С. С. Корчунова. – М. : Недра, 1982. – 760 с.
6. Рациональное использование и охрана торфяных месторождений Республики Беларусь / Т. И. Макаренко [и др.] // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017 : сб. ст. по материалам науч.-практик. конф. с междунар. уч., Севастополь, 11–15 сент. 2017 г. / под ред. Ю. А. Омельчук, Н. В. Ляминой, Г. В. Кучерик. – Севастополь : СевГУ, 2017. – С. 822–825.
7. Радзевич, Л. Ф. Торфяной фонд Белорусской ССР и основные направления его охраны и рационального использования / Л. Ф. Радзевич. – Минск : БелНИИНТИ, 1991. – 29 с.

References

1. Skhema raspredeleniya torfyanikov po napravleniyam ispol'zovaniya na period do 2030 goda [The Scheme of the distribution of peatlands in the areas of use for the period up to 2030]. O nekotoryh voprosah v oblasti sohraneniya i racional'nogo (ustojchivogo) ispol'zovaniya torfyanikov : postanovlenie Soveta Ministrov Resp. Belarus', 30 dek. 2015 g., № 1111 [about some issues in the field of conservation and the rational (sustainable) use of peatland :

- Resolution of the Council of Ministers Rep. Belarus, Dec 30, 2015, No.1111]. Available at: <http://www.pravo.by/document/?guid=12551&p0=C21501111&p1=1> (Accessed 20 February 2017). (in Russian)
2. Makarenko T. I., Lis L. S., Kuntsevich V. B. *Aktualizaciya dannyh o zapasah torfa na torfyanyh mestorozhdeniyah raschetnym metodom* [Update information on peat reserves in peatlands by calculation method]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, Minsk, 2015, vol. 27, pp. 138–143. (in Russian)
 3. *Instrukciya po razvedke torfyanyh mestorozhdenij SSSR* [The instructions for the exploration of peatlands of the USSR]. *Ministerstvo geologii SSSR* [Ministry of Geology of the USSR]. Ed. N. T. Korol, V. D. Markov (editor-in-chief), A. V. Predtechensky, A. A. Sinadsky, N. A. Steklov]. Moscow, Torfgeology Publ., 1983, 193 p.
 4. *Torfyanoj fond Beloruskoj SSR : kadastrovyj spravochnik: po sostoyaniyu razvedannosti na 1 yanvarya 1978 g.* [Peat fund of the Belorussian SSR: cadastral reference: as for exploration to January 1, 1978]. *Upravlenie gosudarstvennogo torfyanoego fonda "Gostorffond" pri Gosplane BSSR* [Office of the State Peat Fund "Gostorffond" under the Gosplan of the BSSR]. Minsk, 1979. (in Russian)
 5. *Spravochnik po torfu* [The reference on peat]. Ed. Ph. D. (Technical), A. V. Lazarev and D.Sc. (Technical), S. S. Korchunova. Moscow, 1982, 760 p. (in Russian)
 6. Makarenko T. I. [et al.] *Racional'noe ispol'zovanie i ochrana torfyanyh mestorozhdenij Respubliki Belarus'* [Rational use and protection of peatlands of the Republic of Belarus]. *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost' – 2017. Sb. st. po materialam nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uch., Sevastopol', 11–15 sent. 2017 g.* [Proc. Conf. with International Participation "Environmental, Industrial and Energy Security – 2017", Sevastopol, 11–15 September 2017]. Ed. by Yu. A. Omelchuk, N. V. Lyamina, G. V. Kucherik]. Sevastopol, 2017, pp. 822–825. (in Russian)
 7. Radzevich L. F. *Torfyanoj fond Beloruskoj SSR i osnovnye napravleniya ego ochrany i racionarnogo ispol'zovaniya* [Peat Fund of the Belarusian SSR and the main directions of its protection and rational use]. Minsk, 1991, 29 p. (in Russian)

Информация об авторах

Виктор Болеславович Кунцевич – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Татьяна Ивановна Макаренко – науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: Makarenko.ip@mail.ru

Олег Михайлович Гайдукевич – канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Инна Валерьевна Агейчик – мл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: Aheichyk.iv@mail.ru

Елена Валентиновна Гречко – начальник отдела землеустройства, Узденский райисполком (ул. Советская, 22, 223411, г. Узда, Минская обл., Республика Беларусь). E-mail: T6256@nca.by

Information about the authors

Victor B. Kuntsevich – Ph. D. (Technical), Senior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nature@ecology.basnet.by

Tatiana I. Makarenko – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Makarenko.ip@mail.ru

Oleg M. Gaidukevich – Ph.D. (Technical), Leading Researcher, Institute of 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

Inna V. Agyechik – Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Aheichyk.iv@mail.ru

Elena V. Grechko – Head of the Land Management, Department of the Uzda District Executive Committee, (Sovetskaya St., 22, 223411, Uzda, Minsk region, Republic of Belarus). Email: T6256@nca.by

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОСТАВА И СВОЙСТВ ТВЕРДЫХ ОСТАТКОВ ОТ ПОЛУЧЕНИЯ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ И ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

А. А. Макеенко

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. Приведены результаты исследования физико-химических свойств и химического состава твердых остатков, образующихся в виде побочных продуктов в производстве биологически активных препаратов на основе торфа «Гидрогумат» и «Консил». Установлено, что исследуемые побочные продукты гуминовых производств имеют близкие физико-химические свойства по массовому содержанию влаги, активной кислотности и плотности, однако они значительно отличаются по групповому составу и содержанию отдельных химических соединений.

Выявлено присутствие в этих продуктах, наряду с целлюлозой и «лигнином», гуминовых веществ, включающих активизированные гуминовые кислоты с повышенным содержанием кислородсодержащих функциональных групп. Установлена устойчивость физико-химических свойств твердых остатков при их длительном хранении, что обусловлено их щелочной средой и имеет важное практическое значение.

Обоснована перспективность использования исследуемых твердых остатков в прудовом рыбоводстве для стимуляции развития компонентов естественной кормовой базы рыб и повышения их продуктивности.

Ключевые слова: торф; окисление; гидролиз; гуминовые препараты; побочные продукты; твердые остатки; направления использования; рыбоводство.

Для цитирования. Макеенко А. А. Сравнительная оценка состава и свойств твердых остатков от получения гуминовых препаратов и возможные направления их использования // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 249–255.

COMPARATIVE ASSESSMENT OF COMPOSITION AND PROPERTIES OF SOLID RESIDUES FROM GETTING HUMIC PREPARATIONS AND POSSIBLE DIRECTIONS FOR THEIR USE

A. A. Makeyenko

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

Abstract. The research results of physicochemical properties and chemical composition of the residues formed as by-products in the production of the plant growth regulator Hydrogummat and the preservative feed Consil based on peat are presented. It was established that the studied by-products of humic derivatives have similar physicochemical properties depending on the mass content, high acidity and density, however, they significantly differ in group composition and content of individual compounds.

The presence in these products along with cellulose and “lignin” of humic substances, including accelerated humic acids with a high content of oxygen-working-functional groups, was revealed. It is established that resistance to physicochemical properties is a consequence of a high degree of acidity and the importance of practical importance.

The prospects of using the studied residues in pond fish farming to stimulate the development of components of the fish natural forage base and increase their productivity are substantiated.

Keywords: peat; oxidation; hydrolysis; humic preparations; by-products; solid residues; directions of use; fish farming.

For citation. Makeyenko A. A. Comparative assessment of composition and properties of solid residues from getting humic preparations and possible directions for their use. *Nature Management*, 2019, no. 2, pp. 249–255.

Введение. Одним из эффективных методов использования торфа как доступного природного сырья является получение на его основе биологически активных гуминовых препаратов, отличающихся по сравнению с их синтетическими аналогами экологической безопасностью для растений, полезных насекомых, организма животных и окружающей среды.

Институтом природопользования НАН Беларуси разработаны эффективные способы и технологические условия получения на основе торфа регулятора роста растений гуминовой природы «Гидрогумат» (ГГ) и гуминового препарата для силосуемых кормов «Консил» (КС), которые выпускаются на промышленных установках с использованием методов последовательного кислотно-щелочного гидролиза и окисления соответственно. Они отнесены к IV классу опасности и разрешены к применению на территории Беларуси [1].

Учитывая расширение сферы применения гуминовых препаратов и возрастающий спрос на эти экологически безопасные продукты не только в растениеводстве, но и в животноводстве, ветеринарии, бальнеологии, физиотерапии, производстве минеральных удобрений, при консервировании кормов, в том числе в «зеленом» земледелии, в настоящее время рассматривается вопрос о создании в республике крупного предприятия по глубокой комплексной переработке торфа, в составе которого планируется организация более крупного производства гуминовых препаратов. Это потребует неотложного решения проблемы утилизации побочных продуктов – твердых остатков гуминового производства [2, 3].

К сожалению, исследованию состава и свойств этих твердых остатков, образующихся при отделении жидкой фазы (целевого продукта), до сих пор не уделялось внимания, что в значительной мере могло явиться причиной их невостребованности.

При постановке данной работы, связанной с оценкой состава и свойств твердых остатков, образующихся при окислительной и гидролитической деструкции торфяного сырья, учитывали, что торф хотя и доступный, но медленно возобновляемый природный ресурс и требует бережного отношения с точки зрения использования ее ценных органических компонентов. Следовательно, поиск эффективных направлений использования твердых остатков, образующихся при химической переработке торфа, имеет не только экологическое, но и важное экономическое значение.

Цель работы – изучить состав и свойства побочных продуктов, образующихся в производстве гуминовых препаратов ГГ и КС для обоснования возможности их использования как вторичного сырья в рыбоводстве.

Объекты и методы исследования. Основными объектами исследования служили побочные продукты гидролитической и окислительной деструкции торфа, образующиеся в виде твердых остатков при производстве гуминовых препаратов ГГ и КС, которые отобраны на действующей промышленной установке ЧП «ЧервеньАгро», расположенной в п. Островы Червенского района Минской области. Объектом исследования также служили образцы исходного торфа, используемого в производстве указанных гуминовых препаратов, который поступает на переработку с торфопредприятия «Дружба» Пуховичского района Минской области, с месторождения Гала-Ковалевское. Дополнительным объектом исследования также служили гуминовые кислоты, выделенные из исходного торфа и продуктов его химической деструкции.

При исследовании состава и свойств указанных побочных продуктов и самого исходного торфа использовали различные физико-химические, аналитические и спектральные методы.

Для определения ботанического состава исходного торфа использовали атлас растительных остатков, встречающихся в торфе [4], и ГОСТ 21123–85 [5], степени разложения – ГОСТ 10650–72 [6].

Содержание массовой доли влаги и сухих веществ проводили в соответствии с действующим типовым методом по ГОСТ 11305-83 [7]. Сущность данного метода заключается в высушивании торфа в сушильном шкафу при температуре 105 °C–110 °C до постоянной массы и вычислении в процентах потери массы взятой навески. Разница в результатах взвешиваний не должна превышать 0,01 г.

Реакцию среды водных вытяжек исследуемых материалов (активную кислотность) определяли при помощи иономера И-120.1.

Массовую долю органических веществ в твердых остатках определяли весовым методом после их нейтрализации серной кислотой до pH 7,0 и последующего прокаливания в муфельной печи при температуре 600 °C –700 °C до постоянной массы.

Массовую долю минеральных веществ A^c рассчитывали по разности массовой доли органических и сухих веществ в твердых остатках.

Элементный состав твердых остатков и самого торфа анализировали в ЦАСИ Института физики НАН Беларуси с использованием CHNOS-анализатора VARIOEL фирмы ELEMENTAR.

Групповой состав органической массы торфа и твердых остатков определяли по методу Инсторфа [8]. Однако ввиду щелочной реакции среды твердых остатков меняли порядок определения компонентов: сначала выделяли гуминовые вещества, затем устанавливали содержания оставшихся компонентов без изменений.

При определении содержания функциональных групп в гуминовых кислотах исходного торфа и в гуминовых кислотах остатков, использовали сорбционный метод, предложенный Т. А. Кукаренко [9].

Оптическую плотность гуминовых кислот замеряли при помощи фотоэлектроколориметра марки КФК-2МП при длине волны 465 нм.

Результаты исследований. Состав и свойства как самих гуминовых препаратов, так и побочных продуктов, образующихся в процессе окислительной или гидролитической переработки торфа, зависят от многих факторов, в том числе от качественных характеристик торфяного сырья, используемых в производстве того или иного гуминового препарата. В данном случае при получении ГГ и КС использовали один и тот же торф. Это позволяет выявить роль технологических параметров, применяемых в данных производствах, где используются разные реагенты для гидролиза и окисления торфа.

Физико-химическая характеристика этого торфа и твердых остатков производства гуминовых препаратов представлена в табл. 1, данные которой показывают, что исходный торф является полноценным сырьем для производства гуминовых препаратов, отличается стандартной влажностью, относительно невысокой зольностью, характерной для низинного торфа, и практически нейтральной реакцией среды. Геоботаническая характеристика исходного торфа, используемого в производстве этих гуминовых препаратов, показала, что он представлен торфом низинного типа древесно-травяной группы со степенью разложения 40 %, который широко распространен на месторождениях Беларуси.

Таблица 1. Физико-химические свойства исходного торфа и твердых остатков от производства гуминовых препаратов

Table 1. Physicochemical properties of the initial peat and solid residues from the production of humic preparations

Показатель	Исходный торф	Твердые остатки производства препаратов	
		ГГ	КС
Влажность, %	50,8	78,3	81,1
Зольность, %	7,8	32,6	21,9
pH водной вытяжки	6,1	10,2	9,9

Как видно из приведенных данных, твердые остатки от производств исследуемых гуминовых препаратов отличаются от исходного торфа высоким содержанием влаги (78,3–81,1 %). Обращает на себя внимание тот факт, что в твердых остатках по сравнению с исходным торфом повышается процентное содержание золы, которая в остатке от ГГ составляет 32,6 %, а в остатке от КС – 21,9 %. Это происходит за счет перехода в целевой продукт значительной части органических компонентов и накопления минеральной части. Повышенное содержание золы в остатке от ГГ по сравнению с ее содержанием в КС объясняется тем, что в его производстве образуется сульфат натрия, частично переходящий в остаток. Оба твердых остатка характеризуются щелочной реакцией среды (pH 9,9–10,2), что связано с применением щелочных реагентов в производстве препаратов. Таким образом, установлено, что исследуемые твердые остатки являются обводненными сильнощелочными продуктами, характеризующимися повышенным содержанием минеральных веществ по сравнению с исходным торфом.

Значительный научный интерес представляло сравнение элементного состава исходного торфа, используемого в производстве указанных гуминовых препаратов, с элементным составом твердых остатков – побочных продуктов гуминового производства (рис. 1, 2).

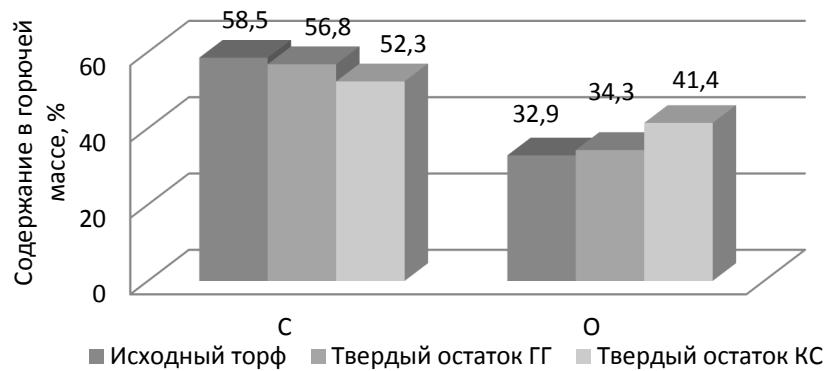


Рис. 1. Сравнительная характеристика образцов исходного торфа и твердых остатков по содержанию углерода и кислорода в горючей массе

Fig. 1. Comparative characteristics of samples of source peat and solid residues by the content of carbon and oxygen in the combustible mass

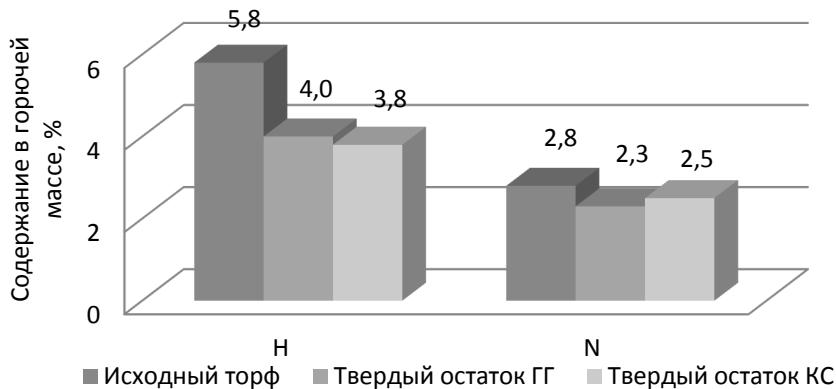


Рис. 2. Сравнительная характеристика образцов исходного торфа и твердых остатков по содержанию водорода и азота в горючей массе

Fig. 2. Comparative characteristics of samples of source peat and solid residues by the content of hydrogen and nitrogen in the combustible mass

Анализ экспериментальных данных по элементному составу твердых остатков – отходов, образующихся в производстве ГГ и КС, показывает, что по содержанию отдельных элементов горючей массы они существенно различаются между собой.

Так, в твердом остатке, образующемся в производстве ГГ, содержится значительно больше углерода (56,8 %) в сравнении с его показателем в аналогичном отходе производства КС (52,3 %). Это обусловлено более глубокой деструкцией органической составляющей торфа при его окислении в среде раствора гидроксида натрия в присутствии пероксида водорода и обогащением как жидкой, так и твердой фазы кислородсодержащими соединениями, что подтверждается результатами определения кислорода в указанных твердых остатках. Исследуемые твердые остатки незначительно отличаются по содержанию водорода в расчете на горючую массу (4,0 % для ГГ и 3,8 % для КС). Не наблюдается также существенных различий в содержании азота, который составляет 2,3 и 2,5 % на горючую массу. Как и следовало ожидать, остатки существенно отличаются в содержании кислорода. Если остаток от ГГ включает 34,3 % от горючей массы, то в остатке от КС его почти на 21,0 % больше, что связано с обогащением твердого остатка от КС кислородом в процессе глубокого окисления торфа.

Учитывая, что ГГ и КС получают на одной промышленной установке с использованием одного торфяного сырья – древесно-осокового торфа с равновеликой степенью разложения, различия в их элементном составе, так и в химической составе в целом обусловлено технологическими параметрами и реагентами, применяемыми при их производстве.

Как показывают данные на рис. 1, в процессе окислительной и гидролитической деструкции образец торфа содержит в горючей массе 58,5 % углерода, а в твердом остатке от ГГ его содержание находится на уровне 56,8 %, в то время как в твердом остатке от производства КС – 52,3 % в расчете на горючую массу.

Как и следовало ожидать, в процессе окислительной и гидролитической деструкции торфа его твердые остатки обогащаются кислородом. Если в исходном торфе, содержание кислорода составляет 32,9 %, то в твердом остатке от производства КС – 41,3 %, а в остатке от ГГ, получаемого методом гидролитической деструкции торфа, содержится меньшее количество кислорода – 34,3 % в его горючей массе. Следовательно, окислительная и гидролитическая деструкция торфа приводят к снижению содержания углерода и увеличению кислорода в твердых остатках, что представляется закономерным.

Сравнительная характеристика содержания водорода в горючей массе исходного образца торфа и исследуемых твердых остатков показала, что твердые остатки, как от ГГ, так и от КС содержат его заметно меньше, чем торфяное сырье. Так, содержание водорода в горючей массе исходного торфа составляет 5,8 %, а в твердых остатках 4,0 и 3,8 % от горючей массы соответственно.

Исходный торф содержит 2,8 % азота, а его доля в горючей массе остатков находится на уровне 2,3 и 2,5 % для ГГ и КС соответственно.

В элементном составе остатка от производства ГГ обнаружено 2,6 % серы, которой нет ни в исходном торфе, ни в других препаратах. Наличие серы в остатке от этого препарата связано с тем, что на одном из этапов его производства используется серная кислота.

Таким образом, химическая переработка торфа, базирующаяся на гидролитической и окислительной деструкции его отдельных компонентов, приводит к образованию побочных продуктов, сущ-

ственно отличающихся по элементному составу. При этом твердые остатки от окисления торфа в большей мере обогащаются кислородом при одновременном снижении углерода в их горючей массе.

Групповой состав твердых остатков, образующихся в процессе получения гуминовых препаратов Гидрогумат и Консил. Химическая характеристика торфа и продуктов его модификации предусматривает определение их группового состава, который позволяет установить содержание основных компонентов в органической массе: битумов, легкогидролизуемых веществ, гуминовых веществ, гуминовых кислот (ГК) и фульвокислот, трудногидролизуемых веществ и «лигнина».

В данной серии экспериментов значительный интерес с научной точки зрения также представляло сравнение группового состава образца исходного торфа, на основе которого произведены ГГ и КС, с групповым составом образующихся побочных продуктов. В этой связи, были проведены дополнительные опыты по определению группового состава древесно-осокового торфа (степень разложения – 40 %) – исходного сырья, используемого в производстве гуминовых препаратов.

На рис. 3 показано содержание основных компонентов в исходном торфе и исследуемых остатках. Групповой состав побочных продуктов гуминового производства имеет свои особенности, что связано в первую очередь с различными способами переработки исходного сырья, так как препараты производятся на одной установке из одинакового торфа.

Установлено, что в исследуемых твердых остатках содержится 3,2 и 3,9 % битумов, что свидетельствует об их относительной устойчивости к воздействию химических реагентов, используемых при химической переработке торфа.

Наибольшие различия отмечены в содержании легкогидролизуемых веществ в этих побочных продуктах. Так, в твердом остатке, отделяемом от ГГ, где торф последовательно гидролизуется в кислой и щелочной средах, практически отсутствуют легкогидролизуемые углеводы. Это связано с гидролизом гемицеллюз и переходом моносахаридов в жидкую фазу – целевой продукт производства. В КС сохраняется лишь 9,6 % легкогидролизуемых веществ в его ОМ, при их содержании в исходном торфе 19,1 %.

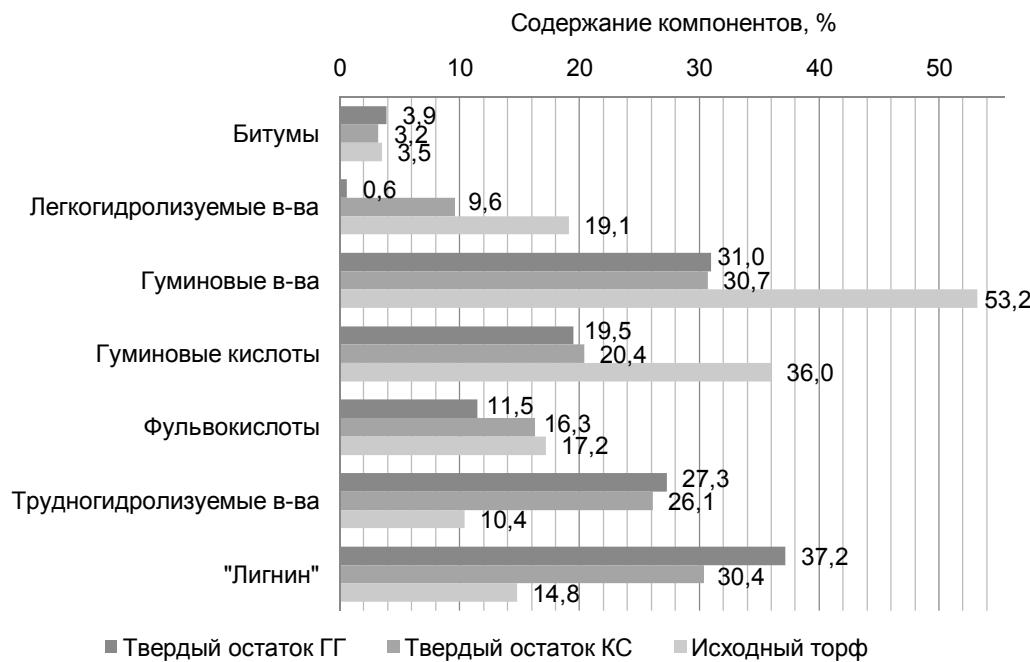


Рис. 3. Сравнительная характеристика группового состава исходного торфа и твердых остатков гуминового производства

Fig. 3. Comparative characteristics of the group composition of the initial peat and solid residues of humic production

Как в одном, так и другом остатках накапливается более 25 % трудногидролизуемых веществ. Разумеется, что это накопление относительное – за счет деструкции других лабильных компонентов, переходящих после окисления или гидролиза торфа в жидкую фазу – целевой продукт.

Переработка торфа приводит также к обогащению твердых остатков «лигнином», при этом в продуктах окисления доля «лигнина» значительно ниже, чем в прогидролизованном остатке. Это обу-

словлено тем, что консервант силосованных кормов КС получают в достаточно жестких условиях окисления по температурным и расходным параметрам реагентов и процесс окисления частично затрагивает и полифенилпропановые структуры торфяного «клигнина» [10].

Обращает на себя внимание тот факт, что оба остатка включают значительное количество гуминовых веществ. Их содержание практически одинаково и для остатка от ГГ составляет 31 %, а от КС – до 30,7 %, что является положительным, учитывая намечаемое их использование как биологически активных добавок в растениеводстве и животноводстве.

Таким образом, установлены существенные различия в групповом составе исследуемых побочных продуктов в зависимости от технологии получения гуминовых препаратов из одного и того же вида торфа.

Выявлено, что как оба твердых остатка содержат сравнительно большое количество гуминовых веществ, проявляющих повышенную биологическую активность, что в связи с тем, что технологиями производства обоих препаратов не предусмотрена стадия промывки остатков после центрифугирования и часть гуминовых препаратов остаются в остатках.

Значительный интерес представляло определение кислородсодержащих функциональных групп окисленных гуминовых кислот в исследуемых твердых остатках в сравнении с гуминовыми кислотами исходного торфа. Физико-химическая характеристика исходных и окисленных гуминовых кислот представлена в табл. 2.

Таблица 2. Физико-химическая характеристика исходных и окисленных гуминовых кислот твердых остатков

Table 2. Physico-chemical characteristics of raw and oxidized humic acids of solid residues

Образец гуминовых кислот	Δ_{465}	Функциональные группы, мг-экв/г		
		-COOH	-OH (фен.)	-C=O (хин.)
Исходный торф	0,39	2,6	3,0	0,5
Твердый остаток ГГ	0,48	3,0	3,5	0,6
Твердый остаток КС	0,59	3,9	2,5	0,9

Результаты определения оптической плотности показывают зависимость ее величины от степени окисленности исследуемого продукта и содержания в нем полярных функциональных групп. Наиболее высокое значение оптической плотности соответствует препарату гуминовых кислот, выделенному из твердого остатка КС.

Модифицированные гуминовые кислоты характеризуются более высоким содержанием функциональных групп по сравнению с гуминовыми кислотами исходного торфа. Так, количество карбоксильных групп возрастает в 1,2 и 1,5 раза, а хиноидных групп – в 1,2 и 1,8 раза, содержание фенольных гидроксилов для гуминовых кислотмодифицированных при окислении, снижается на 17 %, а при гидролизе увеличивается на 17 %.

Заключение. Изучение физико-химических свойств побочных продуктов (твердых остатков), образующихся в производстве гуминовых препаратов «Гидрогумат» и «Консил», показало, что они характеризуются сравнительно высокой влажностью и щелочной реакцией среды, а их органическая часть преобладает над минеральной.

Установлено, что органическое вещество исследуемых твердых остатков, наряду с целлюлозой, «клигнином» и битумами, устойчивыми при гидролизе и окислении торфа, содержит значительное количество гуминовых веществ (до 31 %), не перешедших в жидкую фазу при разделении послереакционной пульпы.

При исследовании физико-химических свойств гуминовых кислот, выделенных из твердых остатков и исходного торфа, показано, что в процессе их модификации повышается их оптическая плотность, степень окисленности и содержание полярных функциональных групп. Наиболее высокие значения оптической плотности соответствуют гуминовым кислотам препарата КС, которые также характеризуются наиболее высоким содержанием кислородсодержащих функциональных групп, способствующих повышению их биологической активности.

Учитывая присутствие в твердых остатках значительного количества активизированных гуминовых кислот, а также предварительные положительные испытания их в качестве подкормки аквариумных и промысловых рыб [11], в рамках ГНТП «Природопользование и экологические риски» проводятся работы совместно с Институтом рыбного хозяйства, связанные с возможностью применения данных твердых остатков для подкормки рыб в прудовых хозяйствах. В настоящее время осуществляются работы, направленные на установление оптимальных доз применения гуматсодержащих остатков в нагульных и выростных прудах. Выявлено их положительное влияние на продуктивность рыбы, что позволяет по завершении указанного проекта в 2020 г. внедрить гуматсодержащие отходы в практику прудовых рыбоводств республики.

Список использованных источников

1. Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь. – Минск, 2017. – 543 с.
2. Лиштван, И. И. Оценка торфоместорождения «Туршовка–Чертово» как сырья для глубокой комплексной переработки / И. И. Лиштван [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2016. – Вып. 30. – С. 113–123.
3. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск : Беларусская наука, 2009. – 328 с.
4. Домбровская, А. В. Атлас растительных остатков, встречающихся в торфе / А. В. Домбровская, М. И. Коренева, С. Н. Тюремнов. – М. : Госэнергоиздат, 1959.
5. ГОСТ 21123–85. Торф. Термины и определения. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 49 с.
6. ГОСТ 10650–72. Торф. Методы определения степени разложения. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 8 с.
7. ГОСТ 11305–83. Методы определения влаги. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 12 с.
8. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск : Наука и техника, 1975. – 318 с.
9. Сысков, К. М. Определение конститутивных групп в углях и их составных частях сорбционным способом / К. М. Сысков, Т. А. Кухаренко // Зав. лаб. – 1947. – № 1. – С. 25–27.
10. Жмакова, Н. А. Содержание свободных фенольных соединений в оксидах отдельных компонентов торфа / Н. А. Жмакова [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2006. – Вып. 12. – С. 129–130.
11. Наумова, Г. В. Биологически активные препараты из торфа как добавки к корму рыб / Г. В. Наумова [и др.] // Сельское хозяйство: проблемы и перспективы : сб. трудов. – Гродно, 2003. – С. 205–208.

References

1. *Gosudarstvennyj reestr sredstv zashchity rastenij (pesticidov) i udobrenij, razreshennyh k primeneniyu na territorii Respubliki Belarus* [The state register of plant protection products (pesticides) and fertilizers permitted for use on the territory of the Republic of Belarus]. Minsk, Ministry of Agriculture and Food of the Republic of Belarus, 543 p. (in Russian)
2. *Lishtvan I. I. Otsenka torfomestorozhdeniya «Turshovka–Chertovo» kak syrya dlya glubokoj kompleksnoj pererabotki* [Assessment of the Turshovka–Chertovo peat deposit as a raw material for deep complex processing]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, Minsk, 2016, issue 30, pp. 113–123. (in Russian)
3. Tomson A. E., Naumova G. V. *Torf i produkty ego pererabotki* [Peat and the products of its proceeding]. Minsk, 2009, 328 p. (in Russian)
4. Dombrovskaya A. V., Koreneva M. I., Tyuremnov S. N. *Atlas rastitelnykh ostanok. vstrechayemykh v torfe* [Atlas of plant residues found in peat]. Moscow, 1959. (in Russian)
5. GOST 21123–85. *Torf. Terminy i opredeleniya* [Peat. Terms and definitions]. Moscow, 1986, 49 p. (in Russian)
6. GOST 10650–72. *Torf. Metody opredeleniya stepeni razlozheniya* [Peat. Methods of botanical content and degree of decomposition determination]. Moscow, 1974, 8 p. (in Russian)
7. GOST 11305–83. *Metodyi opredeleniya vlagi* [Methods for determination of ash moisture]. Moscow, Standartinform Publ., 1985, 12 p. (in Russian)
8. Lishtvan I. I., Korol N. T. *Osnovnyye svoystva torfa i metody ikh opredeleniya* [Main properties of peat and methods of its determination]. Minsk, 1975. 318 p. (in Russian)
9. Syskov K. M., Kukharenko T. A. *Opredeleniye konstitutivnykh grupp v uglyakh i ikh sostavnykh chastyakh sorbtionnym sposobom* [Determination of constitutive groups in coals and its composed parts by sorption method]. *Zav. lab. = Head lab.*, 1947, no 1, pp. 25–27. (in Russian)
10. Zhmakova N. A. *Soderzhanie svobodnyh fenol'nyh soedinenij v oksidatah otdel'nyh komponentov torfa* [The content of free phenolic compounds in the oxides of individual peat components]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, Minsk, 2006, issue 12, pp. 129–130. (in Russian)
11. Naumova G. V. *Biologicheski aktivnye preparaty iz torfa kak dobavki k kormu ryb* [Biologically active preparations from peat as an additive to fish feed]. *Sel'skoe hozyajstvo: problemy i perspektivy* [Agriculture: problems and prospects]. Grodno, 2003, pp. 205–208. (in Russian)

Информация об авторе

Макеенко Александр Александрович – аспирант, мл. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: makeenko1507@mail.ru

Information about the author

Alexander A. Makeenko – Graduate Student, Junior Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: makeenko1507@mail.ru

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НЕРАСТВОРИМОГО ОСТАТКА, ОБРАЗУЮЩЕГОСЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖИДКИХ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ

Н. С. Першай

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В работе установлены физико-химические и сорбционные свойства нерастворимого остатка, образующегося при производстве жидких гуминовых препаратов. Показано, что данный материал проявляет сорбционную активность по ионам тяжелых металлов и может быть использован в качестве сырья для производства сорбента ионов тяжелых металлов. Установлено, что свойства нерастворимого остатка зависят от состава исходного сырья и технологических параметров получения конечного продукта.

Ключевые слова: нерастворимый остаток; жидкие гуминовые препараты; торф; бурый уголь; гуминовые кислоты; сорбционный материал; катионы тяжелых металлов; сорбционная емкость.

Для цитирования. Першай Н. С. Физико-химические и сорбционные свойства нерастворимого остатка, образующегося при производстве жидких гуминовых препаратов // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 256–263.

PHYSICOCHEMICAL AND SORPTION PROPERTIES OF INSOLUBLE RESIDUE FORMED IN THE PRODUCTION OF WATER-SOLUBLE HUMIC PREPARATIONS

N. S. Pershay

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

Abstract. Physicochemical and sorption properties of by-products of production of liquid humic preparations are established in the work. It is shown that this material exhibits sorption activity for heavy metal ions and can be used as a raw material for the production of heavy metal ion sorbent. It is established that the properties of the insoluble residue depend on the composition of the feedstock and technological parameters of the final product.

Key words: insoluble residue; liquid humic preparations; peat; brown coal; humic acids; sorption material; heavy metal cations; sorption capacity.

For citation. Pershay N. S. Physicochemical and sorption properties of insoluble residue formed in the production of liquid humic preparations. *Nature Management*, 2019, no 2, pp. 256–263.

Введение. Республика Беларусь располагает значительными запасами торфа, которые сегодня оцениваются на уровне 4 млрд т. За 2019 г. добыто более 2,6 млн т торфа. Кроме того, в Беларусь существуют запасы неогеновых бурых углей, которые используются как сырье для получения гуминовых препаратов. Нетопливная составляющая при переработке каустобиолитов (торфа, бурого угля) представлена спектром жидких гуминовых продуктов на основе торфа (Гидрогумат, Оксигумат, Гумовет, ЭлеГум и др.). Данные препараты являются высокотехнологичными, позволяют раскрыть весь потенциал гуминовых веществ, а также получать продукты с высокой добавленной стоимостью. Однако при их производстве не все сырье переходит в растворимую форму. При получении жидких гуминовых препаратов в процессе глубокой переработки каустобиолитов (торфа, бурого угля) образуется нерастворимый остаток. Так, на 1 т жидких гуминовых препаратов приходится около 0,2 т такого материала, который не используется, а хранится на территории предприятия как отход. В работах [1, 2] было показано, что остаток торфа после щелочной обработки и выделения гуминовых веществ может выступать сырьем для получения сорбционных материалов.

Цель исследований – изучить физико-химические и сорбционные свойства нерастворимого остатка, образующегося при производстве жидких гуминовых препаратов, как сырья для получения сорбционного материала для очистки сточных вод от катионов тяжелых металлов.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования были использованы нерастворимые остатки, образующиеся при производстве жидких гуминовых препаратов, которые были получены в лабораторных условиях и отобраны на предприятии непосредственно с технологической линии.

Нерастворимые остатки, выделенные в лабораторных условиях, были получены при производстве лабораторной партии следующих жидких гуминовых препаратов:

– Регулятор роста растений из торфа «Оксигумат» ТУ BY 100289079.040-2010 – обозначили в работе как «ППЛ1»;

– Регулятор роста растений из бурого угля «Бурогумин» ТУ BY 100289079.050-2012 – обозначили в работе как «ППЛ2».

Нерастворимые остатки лабораторной партии (ППЛ1 и ППЛ2) жидких гуминовых препаратов получали обработкой каустобиолита (торфа или бурого угля) раствором пероксида водорода в щелочной среде в течение 3 ч в присутствии катализатора при повышенной температуре.

Нерастворимые остатки, отобранные в промышленных условиях, были получены во время производства следующих гуминовых препаратов (место отбора – ЗАО «Белнефтесорб», ООО «Фермент», дата – январь 2013 года):

– Регулятор роста растений «Оксигумат» ТУ BY 100289079.040-2010 – обозначили как «ПП1»;

– Регулятор роста растений «Гидрогумат» ТУ BY 03535026.282-1997 – обозначили как «ПП2»;

– Регулятор роста растений «Гумовет» ТУ BY – обозначили как «ПП3».

Снижение зольности всех образцов осуществляли их поэтапной отмывкой. На первом этапе отмывку осуществляли 0,1 и 0,05 н раствором HCl в соотношении образец : HCl равном 1 : 10. Смесь выдерживали в течение 24 ч, после чего центрифугировали на ЦВ-01/1 при следующих параметрах: частота вращения ротора – 3600 об/мин, время разделения – 20 мин, фактор разделения – 3041г. На втором этапе проводили отмывку образцов от избытка кислоты дистиллированной водой в соотношении образец : вода равном 1 : 10. Смесь выдерживали в течение 24 ч, после чего центрифугировали при параметрах, описанных выше.

Физико-химическая характеристика исследуемых образцов до и после отмывания представлена в табл. 1.

Таблица 1. Физико-химическая характеристика исследуемых образцов до и после отмывания

Table 1. Physical and chemical characteristics of the samples before and after washing

Нерастворимый остаток	Влажность, %	Зольность, %	
		до отмывания	после отмывания
ППЛ1	68,2	36,7	7,3
ППЛ2	67,2	43,3	32,6
ПП1	74,5	43,4	29,6
ПП2	79,8	32,4	16,6
ПП3	88,1	15,8	13,8

Определение содержания кислых функциональных групп в объектах исследования проводили хемосорбционным методом в два этапа. На первом этапе определяли суммарное содержание карбоксилов и фенольных гидроксилов баритовым методом, на втором этапе – содержание карбоксильных групп ацетатным методом [3]. Количество фенольных гидроксилов рассчитывали по разности между результатами этих определений.

ИК-спектры регистрировали на спектрофотометре с преобразованием Фурье IR Prestige-21 (Япония). ИК-спектры абсолютно сухих образцов снимали в запрессованных в пресс-форме под вакуумом при комнатной температуре под давлением 700 МПа таблетках с KBr в диапазоне волновых чисел от 4000 до 400 cm^{-1} . Концентрация образца в таблетке составляла 0,3–0,5 %. [4].

Спектры ЭПР регистрировали на радиоспектрометре РЭ-1301 в атмосфере воздуха при комнатной температуре. Сигналы органических ПМЦ записывали при уровнях СВЧ-мощности 0,1 и 2,5 мВт. ЭПР-спектроскопию образцов проводили с разработанным в Институте природопользования Национальной академии наук Беларуси внутренним эталоном (порошок MgO с микропримесью ионов Mn^{2+} и Cr^{3+}). Ширину и значение g-фактора определяли по 3-й и 4-й компонентам сверхтонкой структуры иона Mn^{2+} , расстояние между которыми равно 87 Гс. Уровень СВЧ-мощности контролировали по соотношению амплитуд сигнала Cr^{3+} и 4-й компоненты сверхтонкой структуры иона Mn^{2+} . В качестве эталона содержания ПМЦ использовали образец витринита, число спинов в котором составило $3,1 \cdot 10^{17}$ [5].

Определение содержания катионов тяжелых металлов (Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+}) в растворе до и после сорбции определяли титриметрическим методом [6].

Результаты и их обсуждение. Исследования о содержании функциональных групп в нерастворимых остатках показали, что образцы, полученные в лабораторных условиях, содержат в своем составе 1,02–1,67 ммоль/г COOH-групп, что позволяет прогнозировать их сорбционную активность по отношению к катионам тяжелых металлов (табл. 2). Содержание COOH-групп в нерастворимом остатке бурого угля (ППЛ2) по сравнению с ППЛ1 (остатке низинного торфа) выше на 38,9 %, OH-групп – на 35,6 %.

Таблица 2. Содержание функциональных групп в нерастворимых остатках**Table 2. The content of functional groups in the insoluble residues**

Образец	Сырье	Количество функциональных групп, ммоль/г		
		COOH	COOH + OH	OH
ППЛ1	Низинный торф	1,02	3,24	2,22
ППЛ2	Бурый уголь	1,67	5,12	3,45

Анализ ИК-спектров нерастворимых остатков (рис. 1) показал наличие следующих полос поглощения: 3400 cm^{-1} – валентные колебания водородно-связанных гидроксильных групп; 2920 и 2850 cm^{-1} – валентные колебания CH_2 - и CH_3 -групп; 1720 cm^{-1} – валентные колебания связи C=O в карбоксильных группах; 1610 cm^{-1} – валентные колебания сопряженных углеродных двойных связей C=C в полиароматических структурах и углерод-кислородных двойных связей; 1510 cm^{-1} – валентные колебания связи C=C monoароматического кольца; 1460 cm^{-1} – асимметричные деформационные колебания CH_3 ; 1406 – 1393 cm^{-1} – симметричные деформационные колебания CH_3 -группы; 1270 , 1220 cm^{-1} – валентные и деформационные колебания C-O , O-H связей фенолов, кислот; 1200 – 1100 cm^{-1} – плоскостные и внеплоскостные деформационные колебания C-OH -групп фрагментов углеводородов и спиртов. Следует отметить, что у нерастворимого остатка, выделенного из низинного торфа (ППЛ1) (кривая 1), наблюдается плечо при 1720 – 1700 cm^{-1} , что связано с наложением полосы аминов при 1650 cm^{-1} , азотсодержащими группировками при 1540 cm^{-1} , и свидетельствует о большем содержании азота в образце по отношению к буроугольному остатку.

В буроугольном остатке (рис. 1, кривая 2) кроме указанных выше полос поглощения наблюдаются полосы поглощения на 1090 , 800 , 780 , 510 и 470 cm^{-1} , обусловленные валентными колебаниями связи Si-C , Si-O . В составе буроугольного остатка содержится значительная часть минеральных компонентов.

Значения относительной интенсивности полос поглощения валентных колебаний C=O кислот и валентных колебаний сопряженных углеродных двойных связей (1610 cm^{-1}) по отношению к полосам валентных колебаний CH_2 - и CH_3 -групп (2920 , 2850 cm^{-1}) для исследуемых образцов представлены в табл. 3.

Полученные значения (табл. 3) свидетельствуют о том, что в нерастворимом остатке низинного торфа (ППЛ1) ароматическая составляющая превышает алифатическую в 2,6 раза, а в буроугольном (ППЛ2) наоборот: алифатическая часть немного превышает ароматическую в 1,2 раза.

Результаты определения статической обменной емкости нерастворимых остатков показали их более высокую сорбционную активность по отношению к ионам тяжелых металлов в нейтральной среде (рН 7,0), чем в кислой (рН 2,0) (табл. 4).

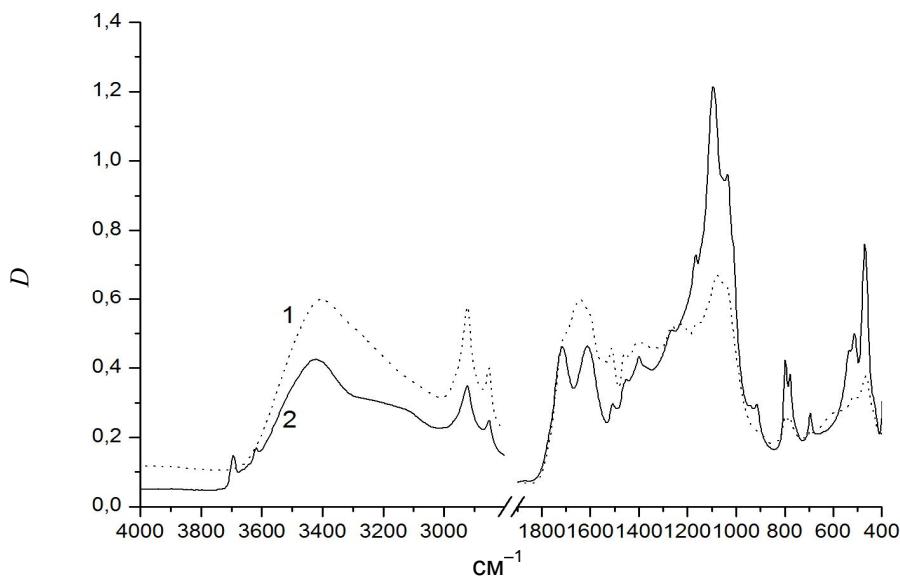


Рис. 1. ИК-спектры нерастворимых остатков, образующихся при производстве жидких гуминовых препаратов: 1 – ППЛ1; 2 – ППЛ2

Fig. 1. IR spectra of by-products of insoluble residues formed in the production of liquid humic preparations: 1 – insoluble peat residue; 2 – insoluble residue of brown coal

Таблица 3. Соотношение оптических полос поглощения нерастворимых остатков при определенных длинах волн**Table 3. The ratio of the optical absorption bands of insoluble residues under certain wavelengths**

Образец	Относительная интенсивность полос поглощения	
	D_{1720}	D_{1610}
	$D_{2920, 2850}$	$D_{2920, 2850}$
ППЛ1	0,5	1,3
ППЛ2	2,1	1,8

Таблица 4. Характеристика сорбционных свойств нерастворимых остатков**Table 4. Characteristics of sorption properties of insoluble residues**

Образец	Металл	рН 2,0		рН 7,0	
		СОЕ, ммоль/г	рН	СОЕ, ммоль/г	рН
ППЛ1	Cu	0,49	2,0	0,63	4,9
	Ni	0,35	2,1	0,54	5,3
	Zn	0,19	2,0	0,44	6,1
ППЛ2	Cu	1,13	2,1	1,65	5,4
	Ni	1,01	2,2	1,55	5,5
	Zn	0,85	2,8	1,43	5,1

Так, для образца ППЛ1 сорбционная активность увеличивается в нейтральной среде (рН 7,0) по сравнению с кислой (рН 2,0) по отношению к ионам Cu^{2+} в 1,3 раза, Ni^{2+} – в 1,5, Zn^{2+} – в 2,3 раза. В то же время для буроугольного образца (ППЛ2) величина статической обменной емкости по отношению к ионам Cu^{2+} и Ni^{2+} увеличилась в 1,5 раза, Zn^{2+} – всего в 1,7 раза.

Следует отметить, что для буроугольного образца ППЛ2 наблюдаются близкие значения обменной емкости для всех трех катионов металлов как в кислой, так и в нейтральной среде. Для остатка низинного торфа ППЛ1 в нейтральной среде при рН 7,0 наблюдается такая же зависимость, однако в кислой среде (рН 2,0) связывание ионов Ni^{2+} и Cu^{2+} происходит в больших количествах, чем Zn^{2+} , что связано с особенностями сорбционной активности катионов Ni^{2+} и Cu^{2+} .

Анализ ИК-спектров комплексов нерастворимых остатков с катионами тяжелых металлов подтверждает факт образования связи между металлом и карбоксилат-ионом как при рН 7,0, так и при рН 2,0 (рис. 2–4).

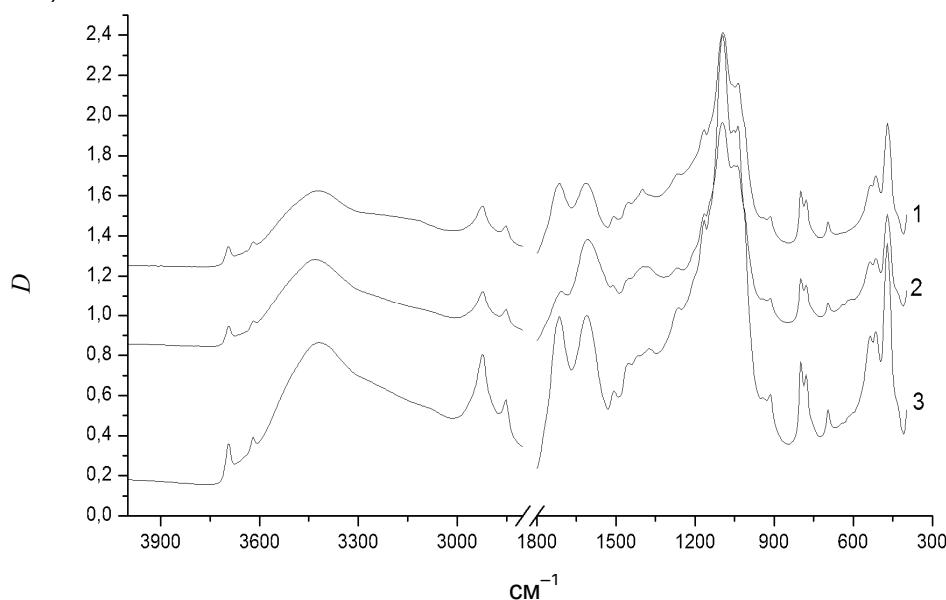


Рис. 2. ИК-спектры ППЛ2 и его комплексов с ионами Cu^{2+} :
1 – исходный; 2 – рН 7,0; 3 – рН 2,0

Fig. 2. IR spectra of insoluble residue of brown coal and its complexes with Cu^{2+} ions:
1 – initial; 2 – pH 7.0; 3 – pH 2.0

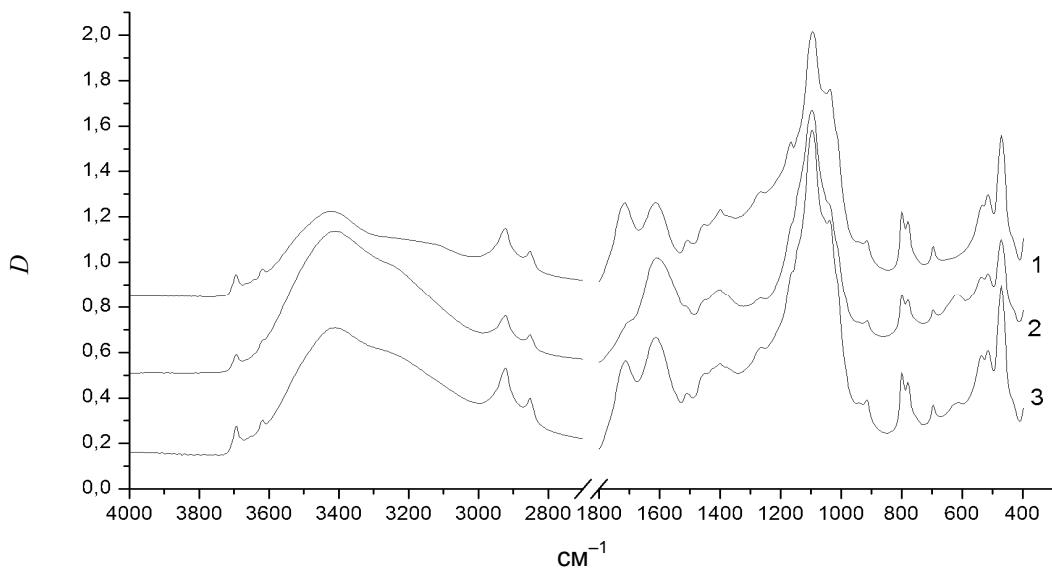


Рис. 3. ИК-спектры ППЛ2 и его комплексов с ионами Ni^{2+} :
1 – исходный; 2 – pH 7,0; 3 – pH 2,0

Fig. 3. IR spectra of insoluble residue of brown coal and its complexes with Ni^{2+} ions:
1 – initial; 2 – pH 7.0; 3 – pH 2.0

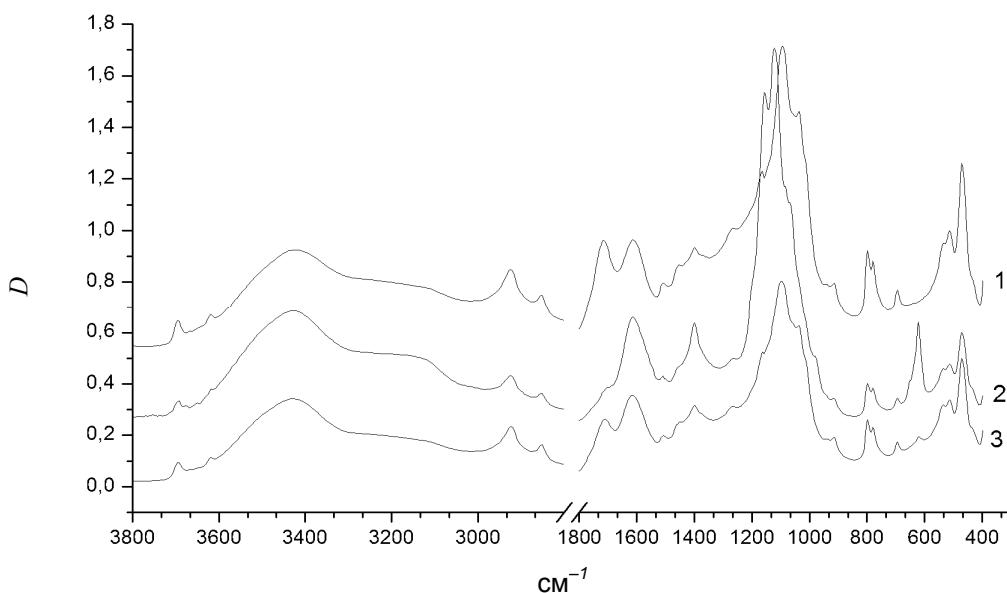


Рис. 4. ИК-спектры ППЛ2 и его комплексов с ионами Zn^{2+} :
1 – исходный; 2 – pH 7,0; 3 – pH 2,0

Fig. 4. IR spectra of insoluble residue of brown coal and its complexes with Zn^{2+} ions:
1 – initial; 2 – pH 7.0; 3 – pH 2.0

Данные табл. 5 показали, что при pH 2,0 интенсивность сигнала валентных колебаний связи C=O в карбоксильных группах снижается на 13–82 %. Несмотря на присутствие в растворе катионов тяжелых металлов в избытке, полное исчезновение полосы при 1720 cm^{-1} не происходит. Аналогичные закономерности получены для образца ППЛ1.

Параметры спектров ЭПР комплексов буроугольного нерастворимого остатка (ППЛ2) с металлами представлены в табл. 6.

Таблица 5. Соотношение оптических полос поглощения комплексов «ППЛ2–катион металла» при определенных длинах волн**Table 5. Ratio of optical absorption bands of "PPL2–metal cation" complexes at certain wavelengths**

Комплекс	рН	Отношение интенсивностей полос поглощения	
		$\frac{D_{1720}}{D_{2850}}$	$\frac{D_{1720}}{D_{2920}}$
Н-форма		5,1	1,5
ППЛ2–Cu ²⁺	2,0	4,4	1,3
	7,0	0,5	1,6
ППЛ2–Ni ²⁺	2,0	1,1	3,5
	7,0	0,2	0,4
ППЛ2–Zn ²⁺	2,0	0,9	2,7
	7,0	0,1	0,4

Таблица 6. Параметры спектров ЭПР комплексов ППЛ2 с металлами**Table 6. Parameters of EPR spectra of PPL2 complexes with metals**

Образец	ΔH , Гс		<i>g</i> -фактор		I , 10^{17} сп/г	A/A_0^*
	0,1 мВт	2,5 мВт	0,1 мВт	2,5 мВт		
Н-форма	3,5	4,1	2,0032	2,0031	6,80	4,89
	рН=2					
Zn–ППЛ2	3,6	3,3	2,0033	2,0033	6,63	4,89
Ni–ППЛ2	3,5	3,7	2,0032	2,0034	2,0	6,5
Cu–ППЛ2			Не регистрируются		$\approx 0,1$	–
	рН=7					
Zn–ППЛ2	4,4	4,6	2,0037	2,0035	10,6	4,47
Ni–ППЛ2			Не регистрируются		$\approx 0,1$	–
Cu–ППЛ2			Не регистрируются		$\approx 0,05$	–

* Отношение амплитуд сигналов, снятых при 2,5 и 0,1 мВт.

Изменение параметров ЭПР-спектров наблюдаются только в нейтральной среде (рН 7,0), когда статическая обменная емкость образца ППЛ2 по отношению к ионам Zn²⁺ превышает 1,0 ммоль/г. Влияние катионов Cu²⁺, Ni²⁺ на параметры спектров ЭПР нерастворимого остатка также наблюдаются при сорбции их в кислой среде при рН 2,0 (табл. 6). Более сильное влияние катионов Cu²⁺ по сравнению с катионами Ni²⁺ объясняется короткими временами релаксации последних [7]. Отсутствие усиления регистрируемой интенсивности спектра катионов Cu²⁺ при повышении их содержания обусловлено наличием комплексов Cu²⁺ различной природы [8].

Результаты определения статической обменной емкости нерастворимых остатков, отобранных непосредственно на технологической линии, показали их сходство с полученными нами в лабораторных условиях (табл. 7).

Таблица 7. Статическая обменная емкость нерастворимых остатков**Table 7. Static exchange capacity of insoluble residues**

Обозначение	Содержание COOH-групп, ммоль/г	Статическая обменная емкость, ммоль/г					
		Cu ²⁺		Ni ²⁺		Zn ²⁺	
		pH 2,0	pH 7,0	pH 2,0	pH 7,0	pH 2,0	pH 7,0
ПП1	0,81	0,37	0,74	0,38	0,62	0,29	0,42
ПП2	0,82	0,41	0,70	0,37	0,55	0,33	0,38
ПП3	1,12	0,73	1,08	0,35	0,52	0,29	0,35

Таким образом, показано, что нерастворимый остаток, образующийся при производстве жидких гуминовых препаратов, в своем составе содержит функциональные группы, способные участвовать в ионообменных реакциях с катионами тяжелых металлов. Установлено, что физико-химические и сорбционные свойства нерастворимых остатков зависят от исходного сырья и технологических особенностей получения жидких гуминовых препаратов.

На основе полученных данных были разработаны технические условия и технологический регламент получения сорбционного материала для очистки сточных вод от катионов тяжелых металлов на основе нерастворимых остатков, образующихся при производстве жидких гуминовых препаратов. Это позволяет более полно использовать исходное сырье (каустобиолиты) и предотвратить образование отходов.

Выводы

1. Впервые проведены исследования физико-химических и сорбционных свойств нерастворимых остатков, образующихся при производстве жидких гуминовых препаратов, как сырья для производства сорбентов, которые показали наличие в них активных функциональных групп: COOH-групп 0,8–1,6 ммоль/г, OH-групп 2,22–3,45 ммоль/г.

2. Показано, что нерастворимые остатки сорбируют катионы тяжелых металлов как в кислой, так и в нейтральной среде. Установлено, что величина обменной емкости увеличивается в ряду Zn^{2+} – Ni^{2+} – Cu^{2+} и составляет от 0,19 до 1,65 ммоль/г в зависимости от условий протекания процесса и исходного сырья.

3. Показано, что сорбционные свойства зависят от исходного сырья и технологических параметров получения жидких гуминовых препаратов.

4. Впервые предложен способ утилизации нерастворимого остатка, образующегося при производстве жидких гуминовых препаратов, что позволяет довести степень использования сырья до 100 %, снизить затраты предприятия и получить новый продукт, подлежащий реализации.

5. Полученные результаты легли в основу разработки технических условий и технологического регламента получения сорбционных материалов для очистки сточных вод от катионов тяжелых металлов.

Благодарности. Автор выражает благодарность за предоставление образцов Г. В. Наумовой, а также ее сотрудникам Н. А. Жмаковой и Н. Л. Макаровой.

Acknowledgements. The author is grateful for the provision of samples to G. V. Naumova and to her collaborators N. A. Zhmakova and N. L. Makarova.

Список использованных источников

1. Першай, Н. С. Остаток после гидролиза каустобиолитов как сырье для получения сорбентов ионов тяжелых металлов / Н. С. Першай, Ю. Г. Янuta, А. М. Абрамец // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 23. – С. 198–202.
2. Физико-химические свойства водонерастворимого остатка после щелочного гидролиза каустобиолитов / Н. С. Першай [и др.] // Природопользование : сб. науч. тр. – Минск, 2013. – Вып. 24. – С. 161–167.
3. Айвазов, Б. В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции : учеб. пособие для институтов / Б. В. Айвазов. – М. : Высшая школа, 1973. – 208 с.
4. Орлов, Д. С. Инфракрасные спектры почв и почвенных компонентов / Д. С. Орлов, Н. Н. Осипова. – М., 1988. – 254 с.
5. Исследование структуры гуминовых кислот методом нелинейной ЭПР-спектроскопии / В. П. Стригуцкий [и др.] // Почвоведение. – 1992. – № 1. – С. 147–152.
6. Шарло, Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений / Г. Шарло. – М. : Химия, 1969. – Ч. II. – 1204 с.
7. Стригуцкий, Л. В. Влияние магнитных центров с короткими временами релаксации на спектры ЭПР углеродных материалов : дис. ... канд. физ-мат. наук / Л. В. Стригуцкий. – Минск : БГУ, 1999. – 172 с.
8. Коллоидная модель сверхэквивалентной сорбции меди гуминовыми кислотами / И. И. Лиштван [и др.] // Коллоидный журнал. – 2009. – Т. 71, № 9. – С. 229–232.

References

1. Pershaj N. S., Yanuta Y. G., Abramec A. M. Ostatok posle gidroliza kaustobiolitov kak syre dlya polucheniya sorbentov ionov tyazhelyh metallov [The residue after hydrolysis of caustobioliths as raw materials for producing sorbents of heavy metal ions]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2013, no. 23, pp. 198–202. (in Russian)
2. Pershaj N. S., Yanuta Y. G., Abramec A. M., Navosha Y. Y., Striguckij V. P. Fiziko-himicheskie svojstva vodoneraстворимого oстатка posle shchelochchnogo hidroliza kastobiolitov [Physico-chemical properties of the water-insoluble residue after alkaline hydrolysis of castability]. *Prirodopol'zovanie = Nature Management*, 2013, no. 24, pp. 161–167. (in Russian)
3. Ayvazov B. V. Praktikum po khimii poverkhnostnykh yavleniy i adsorbsii: ucheb. posobije dlya institutov [Workshop on the chemistry of surface phenomena and adsorption: a textbook for institutes]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1973, 208 p. (in Russian)

4. Orlov D. S., Osipova. N. N. *Infrakrasnye spektry pochv i pochvennyh komponentov* [Infrared spectra of soils and soil components]. Moscow, 1988, 254 p. (in Russian)
5. Striguckij V. P. *Issledovanie strukturny guminovyh kislot metodom nelinejnoj EPR-spektroskopii* [Investigation of humic acid structure by nonlinear EPR spectroscopy]. *Pochvovedenie = Soil Science*, 1992, no. 1, pp. 147–152. (in Russian)
6. Sharlo G. *Metody analiticheskoy khimii. Kolichestvennyy analiz neorganicheskikh soyedineniy* [Methods of analytical chemistry. Quantitative analysis of inorganic compounds]. Moscow, 1969, ch. II, 1204 p. (in Russian)
7. Striguckij L. V. *Vliyanie magnitnyh centrov s korotkimi vremenami relaksacii na spektry EPR uglerodnyh materialov. Diss. kand. fiz.-mat. nauk* [Influence of magnetic centers with short relaxation times on EPR spectra of carbon materials. Dr. phys. and math. sci. diss.]. Minsk, 1999. 172 p. (in Russian)
8. Lishtvan I. I., Dudarchik V. M., Kovrik S. I., Smichnik T. P., Striguckij L. V. *Kolloidnaya model' sverhekvivalentnoj sorbcii medi guminovymi kislotami* [Colloidal model of superequivalent sorption of copper by humic acids]. *Kolloidnyj zhurnal = Colloidal Journal*, 2009, issue 71, no. 9, pp. 229–232. (in Russian)

Информация об авторе

Першай Наталія Сергеевна – науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь).
E-mail: tasha_com105@tut.by

Information about the author

Natalia S. Pershay – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Scoring Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tasha_com105@tut.by

НОВЫЙ СОРБЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ИЗ ОСТАТКОВ ТОРФА И БУРОГО УГЛЯ

Н. С. Першай, Ю. Г. Янута

Институт природопользования НАН Беларусь, Минск, Беларусь

Аннотация. В работе приведены результаты исследования физико-химических и сорбционных свойств остатка торфа и бурого угля. Под остатком в работе понимали материал, образующийся после щелочной обработки каустобиолитов и отделения гуминовых веществ центрифугированием. Установлено, что остаток обладает сорбционными свойствами и может быть использован как сорбционный материал для очистки сточных вод от катионов тяжелых металлов. Показано, что остаток в процессе сорбции не загрязняет очищаемую среду водорастворимыми органическими соединениями и их комплексами с катионами тяжелых металлов в отличие от гуминовых кислот. Выявлено, что воздействие ультразвука на остаток позволяет увеличить его сорбционную емкость в 2,0–3,0 раза за счет диспергирования частиц и увеличения удельной поверхности материала.

Ключевые слова: остаток; торф; бурый уголь; гуминовые кислоты; сорбционный материал; катионы тяжелых металлов; ультразвук; сорбционная емкость; водорастворимые органические вещества.

Для цитирования. Першай Н. С., Янута Ю. Г. Новый сорбционный материал из остатков торфа и бурого угля // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 264–273.

NEW SORPTION MATERIAL FROM RESIDUES OF PEAT AND BROWN COAL

N. S. Pershay, Yu. G. Yanuta

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

Abstract. The paper shows the physico-chemical and sorption properties of residues peat and brown coal. As residues of peat, brown coal were used after alkaline treatment of kaustobiolites and separation of humic substances by centrifugation. It is established that residue has sorption properties and can be used as sorption material for purification of waste waters from cations of heavy metals. It is shown that residue in the process of sorption does not pollute the purified medium with water-soluble organic compounds and their complexes with cations of heavy metals in contrast to humic acids. It was revealed that the effect of ultrasound on residue allows to increase its sorption capacity by 2–3 times due to particle dispersion and increase the specific surface area of the material.

Key words: residue; peat; brown coal; humic acids; sorption material; cations of heavy metal; ultrasound; sorption capacity; water-soluble organic substances.

For citation. Pershay N. S., Yanuta Yu. G. New sorption material from residues of peat and brown coal. *Nature Management*, 2019, no 2, pp. 264–273.

Введение. Проблема поступления тяжелых металлов в окружающую среду актуальна как для Республики Беларусь, так и для всей планеты в целом. Ежегодно в водоприемники страны поступает около 300 т тяжелых металлов, в том числе в 2017 г. 29 т цинка, 4 т меди, 4 т никеля, 3 т хрома. Одним из наиболее эффективных методов очистки сточных вод от тяжелых металлов является сорбционный метод. Хорошо себя зарекомендовали сорбенты на основе природных материалов, таких как торф и бурый уголь. Запасы торфа в Беларусь оцениваются на уровне 4 млрд т. Сорбционные материалы на основе торфа и бурого угля эффективные и недорогие, но у них есть один существенный недостаток – наличие в их составе водорастворимых органических веществ, которые в процессе сорбции переходят в очищаемую среду, загрязняя ее. При этом очистка воды от них значительно сложнее и дороже, чем от тяжелых металлов. Кроме того, благодаря высокой подвижности эти водорастворимые органические вещества и их комплексы с тяжелыми металлами способны мигрировать на значительные расстояния и поступать в сопредельные среды. Данный факт и предопределил необходимость поиска сырья с низким содержанием водорастворимых компонентов. Таким требованиям удовлетворяет материал, образующийся при удалении водорастворимых гуминовых соединений после щелочной обработки каустобиолитов. Информация о данном материале в литературе отсутствует.

Используемый в исследованиях материал (остаток торфа, бурого угля после щелочной обработки и удаления гуминовых веществ) представляет собой сложную многокомпонентную систему, в которой большая органическая часть состоит из негидролизуемого остатка, поэтому в дальнейшем его будем называть просто остаток.

Цель исследований – изучить физико-химические и сорбционные свойства остатка как перспективного сырья с низким содержанием водорастворимых гуминовых веществ для создания на его основе эффективных сорбентов ионов тяжелых металлов.

Объекты и методы исследования. В качестве объектов исследования были выбраны остатки и гуминовые кислоты сосново-пушицевого (Островское месторождение, степень разложения (R) = 40–45 %, зольность (A^c) = 2,2 %) и древесно-тростникового торфа (месторождение Ореховый мох, R = 35–40 %, A^c = 8,4 %), бурого угля (Бриневского месторождения, A^c = 19,6 %, глубина залегания 66,1–81,6 м).

Остаток получали путем щелочной обработки каустобиолита 10 %-ным раствором гидроксида натрия при соотношении сырье : раствор щелочи не менее 1 : 8, температуре 15–30 °C в течение 3 ч, pH супензии не менее 12,0, отделением щелочерасторимых компонентов от остатка центрифугированием в течение 15 мин с фактором разделения не менее 3000г; двукратной отмывкой остатка от гидролизата 0,1 н. HCl, а затем водой при объемном соотношении остаток : жидкость не менее 1 : 2 с последующим отделением отмытого остатка центрифугированием в течение 15 мин с фактором разделения не менее 3000г. Гуминовые кислоты получали путем понижения pH гидролизата с 12,0 до 2,0, с разделением гуминовых веществ центрифугированием при параметрах, описанных выше. Гуминовые кислоты были переведены в *H*-форму отмывкой по схеме, приведенной выше.

Групповой анализ остатков проводили по методике Инсторфа [1]. Содержание кислых карбоксильных групп определяли хемосорбционным методом, суммарное содержание функциональных групп определяли согласно работе [2], а OH-групп – по разнице.

Элементный состав образцов определяли методом пиролиза на C, H, N, O, S-анализаторе VARIOEL III-ELEMENTAR. ИК-спектры регистрировали на спектрофотометре с преобразованием Фурье IR Prestige-21. Спектры ЭПР регистрировали на радиоспектрометре РЭ-1301 в атмосфере воздуха при комнатной температуре. Сигналы органических ПМЦ записывали при уровнях СВЧ-мощности 0,1 и 2,5 мВт. Рентгено-флуоресцентный анализ проводили на приборе EX-Calibur SDD детектором.

Определение потенциальной обменной емкости образцов осуществляли по данным потенциометрического титрования согласно методике [3].

Микрофотографии образцов остатков снимали на световом микроскопе Optec BK 5000 с цифровой камерой Optec (Китай) в диапазоне увеличений 40–100 раз. Исследование воздействия ультразвуковой обработки на остаток осуществляли на установке ИЛ 100–6/1 с пьезоэлектрическим излучателем.

Определение содержания катионов тяжелых металлов (Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+}) в растворе до и после сорбции проводили титrimетрическим методом [4].

Для оценки содержания водорастворимых органических веществ в водных средах использовали оптический (фотоэлектроколориметр КФК-2) и бихроматный методы [5].

Результаты и их обсуждение. Остаток представляет собой сложную многокомпонентную систему, включающую органическую, минеральную и органоминеральную части. Органический компонент остатка, который составляет более 70 %, представлен теми же компонентами, что и исходное сырье (табл. 1).

Органическая составляющая образцов включает трудногидролизуемые вещества и негидролизуемый остаток, на долю которых приходится: для сосново-пушицевого торфа – 61,3 %, для древесно-тростникового торфа – 43,9, для бурого угля – 64,8 %.

Содержание гуминовых и фульвокислот в остатке древесно-пушицевого торфа по сравнению с исходным сырьем ниже в 7,5 раза, древесно-тростникового – в 4,7, бурого угля – в 4,6 раза. Около 7 % органической части остатка приходится на битумную составляющую и остальные 30 % – на долю гуминовых, водорастворимых и легкогидролизуемых веществ. При этом в остатке от исходного торфа остается 13,7–26,7 % водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, до 23 % гуминовых веществ (табл. 1).

Согласно данным элементного анализа (табл. 1), состав остатка близок с исходным сырьем. Более высокое значение степени окисленности (значение O/C) остатка может быть обусловлено увеличением степени обуглероженности и снижением содержания карбоксильных и фенольных функциональных групп. Данные результаты согласуются с результатами определения карбоксильных групп, количество которых в остатке колеблется в пределах 0,6–1,5 ммоль/г.

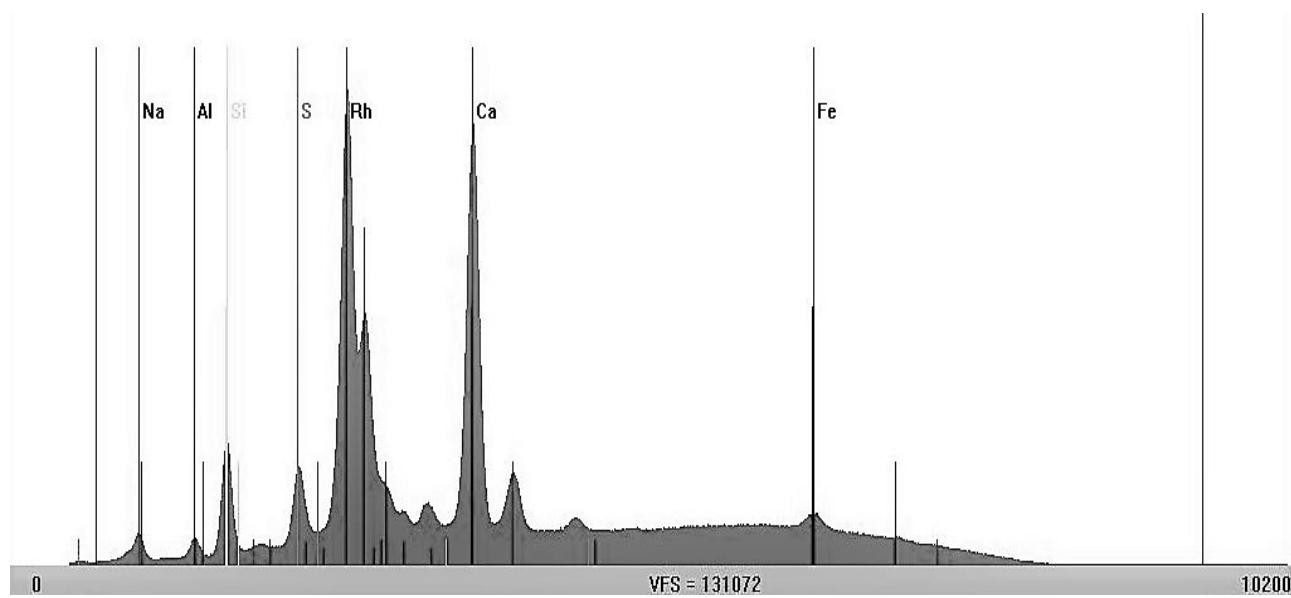
Таблица 1. Физико-химические и сорбционные свойства остатков**Table 1. Physico-chemical and sorption properties of residues**

Наименование сырья	Компонентный состав, %							Элементный состав, масс. %					Атомные отношения		Количество функциональных групп, ммоль/г	
	Б	ВРВ и ЛГВ	ГВ		ТГВ	НГО	C	H	N	O	S	H/C	O/C	COOH	CO-OH+OH	
			всего	в том числе			GK	FK								
Сосново-пушицевый торф	7,9	13,7	17,1	14,7	2,4	18,1	43,2	55,0	6,1	1,0	37,7	0,2	1,33	0,52	1,46	2,25
Древесно-стружниковый торф	6,4	26,7	23,0	19,9	3,1	9,3	34,6	56,6	5,4	3,7	34,0	0,3	1,14	0,45	0,61	1,98
Бурый уголь	6,8	—	28,4	24,5	3,9	—	64,8	64,2	5,4	0,6	29,2	0,6	1,01	0,34	1,01	3,85

Примечание: Б – битумы; ВРВ – водорастворимые вещества; ЛГВ – легкогидролизуемые вещества; ГВ – гуминовые вещества; ГК – гуминовые кислоты; ФК – фульвокислоты; ТГВ – трудногидролизуемые вещества; НГО – негидролизуемый остаток.

Минеральная составляющая остатков до отмывания (A^c остатка торфа до отмывания – 15,6 %, бурого угля – 29,2 %, после отмывания для торфяного остатка – 2,5 %, для буроугольного – 19,3 %) представлена в основном катионами Na^+ , что обусловлено спецификой выделения. Кроме того, в составе минеральной части найдены такие элементы, как Al, Si, Ca, Fe, S (рис. 1), присутствие которых обусловлено природой исходного сырья.

Органоминеральная составляющая остатка представлена, главным образом, соединениями Si с его органической частью, о чем свидетельствует наличие полос поглощения на длинах волн 1090, 800, 780, 510 и 470 cm^{-1} , обусловленные валентными колебаниями связей Si–C и Si–O (рис. 2).

**Рис. 1. Данные рентгено-флуоресцентного анализа остатка до отмывания****Fig. 1. Data x-ray fluorescence analysis of residue to laundering**

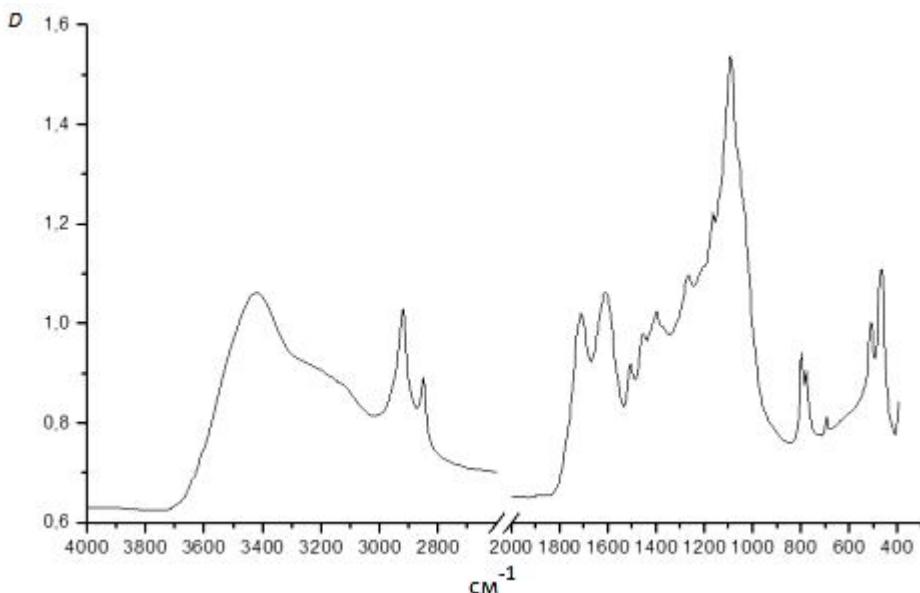


Рис. 2. ИК-спектры остатка сосново-пушицевого торфа

Fig. 2. IR spectra of residue of pine-cotton grass peat

Согласно данным ИК-спектроскопии (рис. 2) для остатка характерно наличие тех же структурных компонентов, что и для исходного сырья, т. е. идентичные полосы поглощения. Анализ полученных данных показал, что структура остатка более конденсированная, жесткая за счет преобладания ароматической составляющей над алифатической более чем в 2 раза, о чем свидетельствует относительная интенсивность полос поглощения валентных колебаний C=O кислот (величина для торфяного остатка составила 1,7) и сопряженных углеродных двойных связей (величина для торфяного остатка составила 2,4) по отношению к полосам валентных колебаний CH₂ и CH₃-групп. Это также подтверждают данные элементного анализа (табл. 1): величина H/C остатка ниже, чем для исходного сырья.

Наличие в остатке каустобиолитов однородной структуры приводит к формированию более развитой системы полисопряжения (табл. 2). Согласно данным ЭПР-спектроскопии можно предположить, что в процессе трансформации молекулярной структуры остатка при протекании процесса метаморфизма основным механизмом выступает образование конденсированных ароматических систем полисопряжения, в том числе за счет разрушения алифатических фрагментов. Кроме того, для остатка бурого угля имеет место увеличение размеров «плоскостных» конденсированных структур.

Различия в параметрах спектров ЭПР каустобиолитов и препаратов из них связывают, преимущественно, с наличием в их системах полисопряжения азота [6], т. е. с увеличением содержания азота в образце ширина сигнала (ΔH) увеличивается. Однако, величина ΔH для буроугольного остатка (содержание азота – 0,6) значительно больше по сравнению с остатком сосново-пушицевого торфа (содержание азота – 1,0). Поскольку ширина сигнала ЭПР твердых горючих ископаемых обусловлена в основном аксиальной анизотропией g-фактора [7], то данный факт свидетельствует о больших размерах полисопряженных фрагментов остатка бурого угля (табл. 2).

Таблица 2. Параметры спектров ЭПР остатков торфа и бурого угля

Table 2. The parameters of EPR spectra residues of peat and brown coal

Остаток	ΔH , Гц		g-фактор		$I, 10^{17}$ сп/г	A/A_0
	0,1 мВт	2,5 мВт	0,1 мВт	2,5 мВт		
Древесно-тростникового торфа	5,3	5,0	2,0031	2,0031	4,1	2,5
Сосново-пушицевого торфа	3,9	3,7	2,0041	2,0036	8,5	1,4
Бурого угля	4,7	5,1	2,0037	2,0040	15,2	2,2

Примечание. A/A_0 – отношение амплитуд сигналов, снятых при 2,5 и 0,1 мВт.

Определяющими факторами возможности использования остатков в качестве сырья для получения сорбционных материалов являются количество, состав и свойства функциональных групп. Содержание функциональных групп в остатке колеблется в пределах 1,98–3,85 ммоль/г (табл. 1). Расчитанные константы диссоциации функциональных групп остатков подтверждают их полифункциональность (рис. 3). Кроме того, на основании полученных данных видно, что удельное содержание (q_i) кислых функциональных групп (0,33 и 0,27) выше, чем функциональных групп, ионизированных в щелочной среде (0,14 и 0,10). Разброс в константах их диссоциации обусловлен, прежде всего, их топологией в макромолекуле. Такая же закономерность прослеживается в остатке вне зависимости от исходного сырья.

Рассчитанные значения потенциальной обменной емкости (ПОЕ) остатков торфа и бурого угля показали, что сорбционная емкость обусловлена ионизированием функциональных групп при определенной реакции среды. Показано (рис. 4), что кривые ПОЕ остатков как торфа, так и бурого угля схожи, что связано с протеканием аналогичных процессов ионного обмена.

Статическая обменная емкость остатка зависит от вида сорбируемого катиона. Установлено (рис. 5), что она растет в ряду Zn–Ni–Cu.

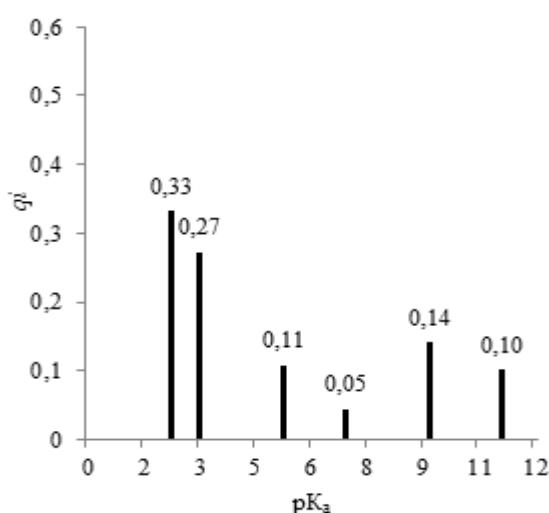


Рис. 3. pK_a -спектры остатка сосново-пушицевого торфа

Fig. 3. RCA-spectra residue pine-cotton grass peat

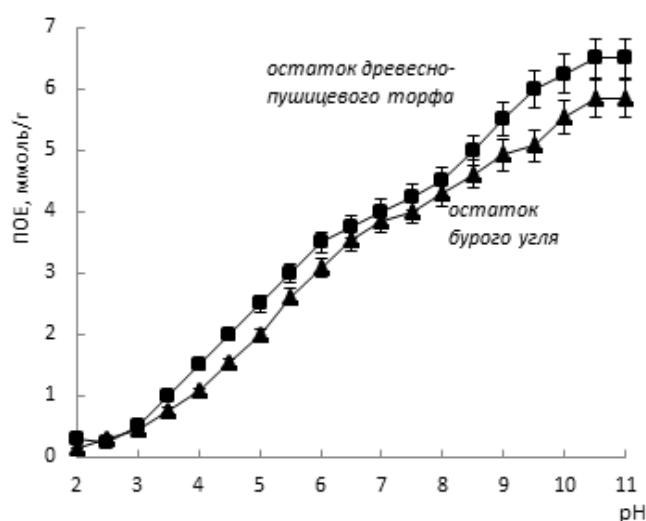
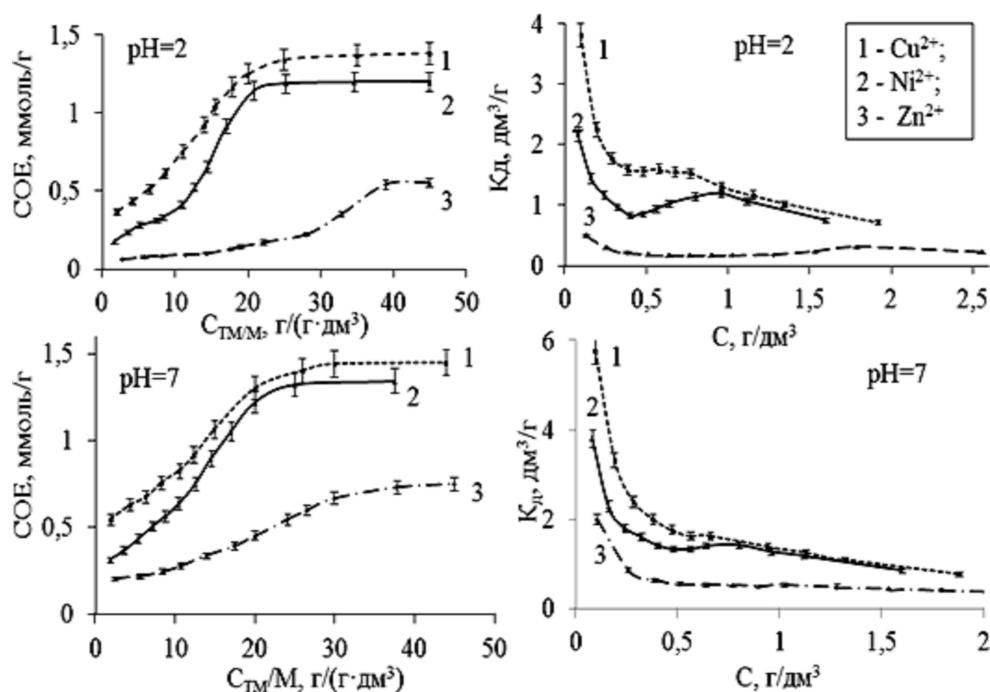


Рис. 4. Динамика изменения потенциальной обменной емкости остатков в зависимости от реакции среды

Fig. 4. Dynamics of change of the potential exchange capacity residue depending on the reaction medium

Рис. 5. СОЕ и K_d остатка сосново-пушицевого торфаFig. 5. SEC and K_d residue pine-cotton grass peat

Рассчитанные K_d для остатка торфа и бурого угля отличаются для процессов сорбции по ионам Cu²⁺, Ni²⁺, Zn²⁺. Такое отличие можно объяснить протеканием различных механизмов. Так, для катионов Cu²⁺ и Ni²⁺ имеет место комплексообразование и взаимодействие с функциональными группами. Для катионов Zn²⁺ комплексообразование выражено слабее. Убыль K_d по ионам Cu²⁺, Ni²⁺ описывается экспоненциальной зависимостью, в случае ионов Zn²⁺ эта зависимость имеет менее выраженную экспоненциальную регрессию и приближается к линейной, что связано со снижением избирательной сорбции ионов Zn²⁺ остатками каустобиолитов (рис. 5). Следует отметить, что значения K_d для остатка сосново-пушицевого торфа характеризуются появлением пика различной высоты как в кислой, так и в нейтральной среде на экспоненциальной зависимости, что может быть связано с изменением механизма сорбции.

Отличительной особенностью остатка от гуминовых кислот как сорбентов ионов тяжелых металлов является отсутствие загрязнения очищаемой среды водорастворимыми органическими соединениями. Величина ХПК очищаемой среды после использования остатка не превышает 4 мг/см³. Данный показатель более чем в 4,0 раза ниже по сравнению с применением гуминовых кислот (табл. 3).

Таблица 3. СОЕ остатков и гуминовых кислот торфа и бурого угля, а также величина ХПК очищенной водной среды по отношению к катионам Cu²⁺Table 3. SEC residues and humic acids of peat and brown coal and also the CCC value of the purified water environment with respect to Cu²⁺

Параметр	Сосново-пушицевый торф				Бурый уголь			
	остаток		гуминовые кислоты		остаток		гуминовые кислоты	
	pH 2,0	pH 7,0	pH 2,0	pH 7,0	pH 2,0	pH 7,0	pH 2,0	pH 7,0
СОЕ, ммоль/г	1,38	1,45	0,53	2,59	0,74	0,85	0,35	2,12
ХПК фугата · 10 ⁶ , кг О ₂ /дм ³	3,7	1,1	17,6	17,6	4,1	3,7	11,7	14,6

Согласно полученным данным (табл. 3), остаток превосходил гуминовые кислоты по обменной емкости в кислой среде в 2,5 раза, что подтверждают и данные ИК-спектроскопии (табл. 4): наблюдается снижение интенсивности полос поглощения валентных колебаний свободных карбоксильных групп для остатка по сравнению с ГК. Связано это с тем, что в кислой среде гуминовые кислоты из развернутого состояния переходят в более компактное, тем самым затрудняя доступ катиона к сорбционно-активным функциональным группам. В то же время, остаток имеет более конденсированную структуру, что позволяет функциональным группам в кислой среде оставаться на поверхности, а значит быть доступными для взаимодействия.

Гуминовые кислоты по содержанию COOH-групп (сосново-пушицевого торфа – 2,89 ммоль/г, древесно-тростникового торфа – 0,61, бурого угля – 1,01 ммоль/г) и величине статической обменной емкости (рН 7,0) все же превосходят по своим сорбционным свойствам остаток, поэтому для увеличения его сорбционной способности проводили его обработку ультразвуком, что позволило повысить обменную емкость остатка по ионам Zn²⁺ в 2,0 раза, по ионам Cu²⁺ – в 3,0 раза. При этом содержание COOH-групп после обработки в остатке увеличилось с 10 до 40 % (табл. 5).

Рост обменной емкости остатка под действием ультразвука протекает при определенных условиях и связан с увеличением его удельной поверхности за счет деструкции крупных частиц, что подтверждают результаты микроскопии (рис. 6).

Таблица 4. Относительная интенсивность полос поглощения остатка, гуминовых кислот торфа и их комплексов с катионами Cu²⁺

Table 4. Relative intensity of absorption bands of residue, humic acids of peat and their complexes with Cu²⁺

Образец	Относительная интенсивность полос поглощения	
	D ₁₇₂₀	D ₁₇₂₀
	D ₂₈₅₀	D ₂₉₂₀
Остаток, исходный	1,74	0,53
Остаток-Cu, pH 2,0	1,28	0,39
Остаток-Cu, pH 7,0	0,52	0,16
Гуминовые кислоты, исходный	1,25	1,00
Гуминовые кислоты-Cu, pH 2,0	1,24	1,00
Гуминовые кислоты-Cu, pH 7,0	0,60	0,86

Таблица 5. Содержание функциональных групп и СОЕ модифицированных остатков

Table 5. The contents of functional groups and SEC of modified residues

Сырье	Параметры обработки		Содержание функциональных групп, ммоль/г		СОЕ, ммоль/г		
	мощность, Вт	время, с	COOH	COOH + OH	OH	Cu ²⁺	Zn ²⁺
Торф сосново-пушицевый	Без обработки		1,46	2,25	0,79	1,45	0,75
	630	60	1,75	2,40	0,65	2,98	0,90
		120	1,64	2,58	0,94	3,31	1,29
	1260	60	1,58	2,71	1,13	3,51	1,32
		120	2,01	2,97	0,96	3,11	1,57
Бурый уголь	Без обработки		1,01	5,26	4,25	0,85	0,62
	630	60	1,25	4,41	3,16	2,42	0,82
		120	1,12	6,62	5,50	2,56	1,24
	1260	60	0,98	7,05	6,07	2,75	1,24
		120	1,42	6,77	5,35	2,26	1,36

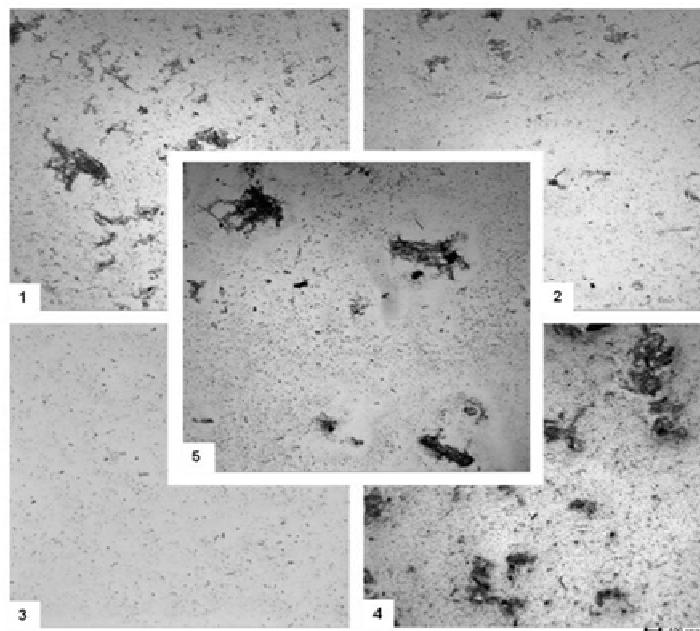


Рис. 6. Микрофотографии остатка сосново-пушицевого торфа до и после ультразвуковой обработки: 1 – 630 Вт, 60 с; 2 – 630 Вт, 120 с; 3 – 1260 Вт, 60 с; 4 – 1260 Вт, 120 с; 5 – без обработки

Fig. 6. Photomicrographs residue pine-cotton grass peat before and after ultrasound:
1 – 630 watts, 60 seconds; 2 – 630 watts, 120 seconds; 3 – 1260 watts, 60 seconds;
4 – 1260 watts, 120 seconds; 5 – without treatment

Установлено (рис. 6), что остаток является материалом с высокой дисперсностью. В его структуре имеются частицы широкого размерного ряда (как более 10 000 мкм, так и менее 10 мкм). Ультразвуковая обработка приводит к снижению дисперсности за счет роста содержания частиц размером менее 100 мкм. При одинаковых условиях обработки в зависимости от исходного сырья размеры частиц остатка уменьшаются в ряду сосново-пушицевый торф–древесно-стружниковый торф–бурый уголь.

Результатом уменьшения агрегатов становится рост их поверхности и увеличение доступности карбоксильных групп. Как показали микроснимки (рис. 6), характер воздействия ультразвука на структуру органической части остатка носит нелинейный характер и приводит как к деструкции, так и к агломерации частиц. Так же нелинейно изменяется и обменная емкость: сначала, пока идет деструкция, СОЕ растет, после, когда протекает процесс агломерации частиц, емкость обмена падает. Сопоставление влияния мощности и времени обработки показало, что максимальная деструкция протекает при большей мощности и меньшем времени воздействия (рис. 6: 2, 3).

Величина порога структурообразования модифицированных образцов остатка сосново-пушицевого торфа (концентрация органического вещества в суспензии – 2 г/дм³) выросла в 1,1–2,0 раза – от 200 до 375 ммоль CaCl₂ на 1 дм³ суспензии остатка (порог структурообразования остатка до ультразвука – 175 ммоль CaCl₂/дм³), что также свидетельствует об увеличении степени дисперсности частиц остатка после воздействия ультразвука.

Данные ИК- и ЭПР-спектроскопии модифицированных образцов свидетельствуют об отсутствии при заданных условиях ультразвуковой обработки (мощности и времени воздействия) окислительно-гидролитических процессов. Показано, что обработка буроугольного остатка приводит к снижению его зольности на 0,5–9,0 % (с 16,5 до 7,5 %).

Установлено, что изменение статической обменной емкости остатка при хранении (120 сут) не превышает 5 %, что свидетельствует об устойчивости эффекта от воздействия ультразвука на остаток.

На основании полученных данных была разработана технология получения сорбента на основе остатков торфа, бурого угля для очистки сточных вод от тяжелых металлов, который не загрязняет очищаемую среду водорастворимыми органическими веществами.

Выводы

1. Впервые показано, что состав органической части остатков торфа и бурого угля отличается от состава исходного сырья соотношением компонентов. Содержание лигнина и целлюлозы в органической части остатка сосново-пушицевого торфа составляет 61,3 %, древесно-тростникового торфа – 43,9, бурого угля – 64,8 %. Содержание гуминовых веществ в остатке сосново-пушицевого торфа по сравнению с исходным сырьем ниже в 7,5 раза, древесно-тростникового – в 4,7, бурого угля – в 4,6 раза.

2. Установлено, что статическая обменная емкость остатка зависит от кислотности очищаемой среды и увеличивается с 0,17–1,38 до 0,37–1,45 ммол/г. Исследуемые тяжелые металлы по снижению статической обменной емкости располагаются в ряд $\text{Cu}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Zn}^{2+}$. Установленная закономерность справедлива для остатков как в моно-, так и в бикатионных растворах. Выявлено, что остаток торфа и бурого угля проявляет более высокую сорбционную активность, чем гуминовые кислоты (статическая обменная емкость – 0,1–0,53 ммол/г) в кислой среде при pH 2,0. Величина статической обменной емкости остатка в кислой среде колеблется в диапазоне 0,17–1,38 ммол/г.

3. Выявлено, что поступление в очищаемую среду седиментационно устойчивых комплексов сорбента при проведении сорбции ионов тяжелых металлов остатком минимально (величина оптической плотности не превышает 0,13, величина ХПК – $9,5 \cdot 10^{-6}$ кг $\text{O}_2/\text{дм}^3$), т. е. при использовании разработанного сорбента практически не происходит вторичного загрязнения очищаемой среды как седиментационно устойчивыми комплексами ионов тяжелых металлов с водорастворимыми органическими веществами, так и компонентами сорбционного материала.

4. Экспериментально обоснованы условия обработки остатков торфа и бурого угля ультразвуком, позволяющие повысить сорбционную емкость материала. Показано, что ультразвуковая обработка остатков торфа и бурого угля увеличивает его сорбционную емкость по ионам меди при pH 7,0 на 2,0 ммол-экв/г или в 2,5–3,0 раза. Установлено, что содержание карбоксильных групп после ультразвуковой обработки в остатке увеличивается в 1,1–1,4 раза. Определены параметры обработки остатка, не приводящие к образованию низкомолекулярных органических соединений, на что указывает величина оптической плотности очищаемой среды – 0,005–0,023.

Список использованных источников

- Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск : Наука и техника, 1975. – 320 с.
- Орлов, Д. С. Практикум по химии гумуса / Д. С. Орлов, Л. А. Гришина,. – М. : Моск. гос.ун-т, 1981. – 270 с.
- Айвазов, Б. В. Практикум по химии поверхностных явлений и адсорбции: учеб. пособие для институтов / Б. В. Айвазов. – М. : Высшая школа, 1973. – 208 с.
- Шарло, Г. Методы аналитической химии. Количественный анализ неорганических соединений / Г. Шарло. – М. : Химия, 1969. – Ч. II. – 1204 с.
- Лихачева, А. В. Химия окружающей среды. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие для студентов / А. В. Лихачева, Л. А. Шибека. – Минск : БГТУ, 2011. – 204 с.
- Новые принципы моделирования структуры гуминовых кислот / И. И. Лиштван [и др.] // Вестн АН БССР. Сер. хим. наук. – 1990. – № 4. – С. 7–10.
- Влияние непарамагнитных ионов Ca^{2+} на параметры спектров ЭПР Ир ига-Бородинского бурого угля / Е. С. Черепанова [и др.] // Химия твердого топлива. – 1985. – № 6. – С. 15–19.

References

- Lishtvan I. I., Korol N. T. *Osnovnyye svoystva torfa i metody ikh opredeleniya* [Basic properties of peat and methods of their determination]. Minsk, 1975, 320 p. (in Russian)
- Orlov D. S., Grishina L. A. *Praktikum po khimii gumusa* [Workshop on humus chemistry]. Moscow, 1981, 270 p. (in Russian)
- Ayvazov B. V. *Praktikum po khimii poverkhnostnykh yavleniy i adsorbsii: ucheb. posobiye dlya institutov* [Workshop on the chemistry of surface phenomena and adsorption: a textbook for institutes]. Moscow, 1973, 208 p. (in Russian)
- Sharlo G. *Metody analiticheskoy khimii. Kolichestvennyy analiz neorganicheskikh soyedineniy* [Methods of analytical chemistry. Quantitative analysis of inorganic compounds]. Moscow, 1969, Ch. II, 1204 p. (in Russian)
- Likhacheva A. V., Shibeka L. A. *Khimiya okrughayushchey sredy. Laboratornyy praktikum : ucheb.-metod. posobiye dlya studentov* [Environmental chemistry. Laboratory workshop: teaching aid for students]. Minsk, 2011, 204 p. (in Russian)
- Lishtvan I. I. [et al.]. *Novyye printsipy modelirovaniya struktury guminovykh kislot* [New principles of modeling of the structure of humic acids] / *Vestsi AN BSSR. Ser. khim. navuk*, 1990, no 4, pp. 7–10. (in Russian)

7. Cherepanova E. S. [et al.] *Vliyanie neparamagnitnykh ionov Ca²⁺ na parametry spektrov EPR Iriga-Borodinskogo burogo uglya* [Effect of nonparamagnetic Ca²⁺ ions on the parameters of the Iriga-Borodino brown coal EPR spectra]. *Khimiya tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*, 1985, no 6, pp. 15–19. (in Russian)

Информация об авторах

Першай Наталія Сергеевна – науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: tasha_com105@tut.by

Янута Юрий Григорьевич – канд. техн. наук, доцент, вед. науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: yanuta@tut.by

Information about the author

Natalia S. Pershay – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Scoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tasha_com105@tut.by

Yurij G. Yanuta – Ph. D. (Technical), Assistant Professor, Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Scoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yanuta@tut.by

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ SCIENTIFIC REPORT

УДК 595.7:627.8

Поступила в редакцию 29.10.2019

Received 29.10.2019

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЫШЕННЫХ ВОДОПРИТОКОВ В КАРЬЕР «ГРАЛЕВО» В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА ВИТЕБСКОЙ ГЭС

В. И. Пашкевич, Ю. П. Анцух, Н. М. Томина, М. М. Черепанский

*Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь;
Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе, Москва, Российская Федерация*

Аннотация. Разработана математическая гидрогеологическая модель района расположения доломитового карьера «Гралево», выполнено определение внешних и внутренних гидродинамических границ модели в плане и в разрезе, решены задачи по определению источников, формирующих водоприток в карьер. Показано, что решающее влияние на резкое увеличение в 2017 г. водопритока в карьер оказало создание водохранилища Витебской ГЭС, которое расположено в пределах депрессионной воронки, сформированной водоотливом из карьера.

Ключевые слова: подземные воды; водоприток в карьер; уровеньный режим подземных вод; коэффициенты фильтрации; депрессионная воронка; математическая гидрогеологическая модель.

Для цитирования. Пашкевич В. И., Анцух Ю. П., Томина Н. М., Черепанский М. М. Оценка условий формирования повышенных водопритоков в карьер «Гралево» в зоне влияния водохранилища Витебской ГЭС // Природопользование. – 2019. – № 2. – С. 274–278.

THE ESTIMATION OF THE CONDITIONS OF THE FORMATION OF INCREASED OF WATER SUPPLIES TO ‘GRALEVO’ QUARRY IN THE ZONE OF THE INFLUENCE OF THE RESERVOIR OF VITEBSK HYDROELECTRIC STATION

V. I. Pashkevich, Yu. P. Antsukh, N. M. Tomina, M. M. Cherepansky

*Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus;
Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University, Moscow, Russian Federation*

Abstract. Mathematical and hydrogeological model of the region of the distribution of ‘Gralevo’ dolomite quarry has been developed, the determination of the outer and inner borders of the model in a plan and in section, tasks to determine sources that form a water inflow into the quarry have been solved. It is shown that decisive influence on a sharp increase in the water inflow to the quarry in 2017 was made by the creation of Vitebsk hydroelectric power station reservoir, which is located within a depression funnel formed by the drainage from the quarry.

Keywords: groundwater; water inflow into the quarry; groundwater level regime; filtration coefficients; depression funnel; mathematical hydrogeological model.

For citation. Pashkevich V. I., Antsukh Yu. P., Tomina N. M., Cherepansky M. M. The estimation of the conditions of the formation of increased of water supplies to ‘Gralevo’ quarry in the zone of the influence of the reservoir of Vitebsk hydroelectric station. *Nature Management*, 2019, no 2, pp. 274–278.

Объект исследований. Карьер «Гралево» ОАО «Доломит» (рис. 1) эксплуатирует одно из крупнейших в Беларуси месторождений доломитов «Руба», общие разведанные запасы которого превышают 1,7 млрд т [1]. Доломиты залегают на глубине 22–44 м и перекрываются толщей четвертичных отложений, главным образом моренных суглинков и супесей. В русле р. Западная Двина, которая пересекает территорию месторождения с северо-востока на юго-запад, доломиты выходят на поверхность, формируя так называемые Витебские пороги. Их протяженность достигает 7 км [2]. Доломитовая толща имеет верхнедевонский возраст ($D_3sr+sm-br$) и характеризуется высокой каверноз-

ностью и трещиноватостью. Ее мощность изменяется от 26 до 82 м, составляя в среднем 40–42 м. Водоносный горизонт, приуроченный к доломитовой толще, характеризуется высокой водообильностью. Коэффициенты фильтрации (k) водовмещающих пород имеют значения от 1–4 до 86 м/сут, а некоторых участках – до 150–170 м/сут. Наибольшие коэффициенты водопроводимости (km) наблюдаются в долинах рек (от 500 до 6000 м²/сут), а наименьшие – на водораздельных участках (от 50 до 200 м²/сут). Водоносный горизонт имеет тесную гидравлическую связь с р. Западная Двина. Величины фильтрационных сопротивлений ложа реки (ΔL) составляют от 150 до 2800 м [3]. Высокая водообильность доломитовой толщи обуславливает большие водопритоки в карьер «Гралево», эксплуатация которого с 1973 г. осуществляется под защитой водоотлива. В период 2010–2016 гг. водоотлив из карьера составлял 430–500 тыс. м³/сут, что обеспечивало поддержание уровня воды в карьере на абсолютной отметке +119,5 м. Под его влиянием в водоносном горизонте доломитовой толщи сформировалась обширная депрессионная воронка с понижением в центре до 15–18 м. От карьера «Гралево», расположенного на левобережье р. Западная Двина и удаленного от нее на 700 м, депрессионная воронка распространялась и на правобережье реки, что подтверждается результатами режимных наблюдений.



Рис. 1. Карьер «Гралево» ОАО «Доломит» (северо-западный борт карьера)

Fig. 1. 'Gralevo' quarry OJSC 'Dolomit' (the northern-western side of the quarry)

Создание руслового водохранилища Витебской ГЭС, заполнение которого было начато в октябре 2016 г., и обусловленный этим подъем уровня воды в р. Западная Двина с абсолютной отметкой +133 м (отметка меженного уровня) до +139 м (НПУ) оказали существенное влияние на изменение гидрогеологических условий на прилегающей к водохранилищу территории. Вследствие формирования подпора здесь произошел резкий подъем уровня подземных вод от 0,5 до 5,0 м в зависимости от расстояния до водохранилища. Этот подъем достаточно хорошо коррелировал с увеличением водопритока в карьер «Гралево». Так, по состоянию на конец февраля 2017 г. он возрос до 670 тыс. м³/сут, создав критическую ситуацию в системе водоотлива из карьера. В целом среднее увеличение водопритока оценивалось величиной 180 тыс. м³/сут, что более чем в 10 раз превысило прогноз, разработанный на этапе проектирования Витебской ГЭС.

Метод исследований. С целью выяснения источников формирования повышенных водопритоков в карьер «Гралево», что было необходимо для решения хозяйственного спора между ОАО «Доломит» и УП «Витебскэнерго», была осуществлена разработка региональной математической гидро-геологической модели. Для компьютерного построения геофiltрационной математической модели была использована программная система по моделированию движения подземных вод и массопереносу GMS 5.1. Для подготовки исходных данных, визуализации результатов моделирования использовался программный комплекс MODFLOW.

На моделируемой области фильтрации в качестве внешних границ были приняты гидроизоплызы верхнедевонского водоносного комплекса с неизменным во времени и под влиянием возмущений напором на них (ГУ I рода с $H = \text{const}$) и перпендикулярные им линии с ГУ II рода с $Q = Q(t)$ (рис. 2).

Исходя из гидрогеологических условий территории и целей выполняемых исследований, за нижнюю границу была принята подошва верхнедевонских доломитовых отложений. В качестве внутренних границ моделируемой области с различными типами граничных условий принимались реки, водозаборные скважины, карьер и др. [4]. В границы области фильтрации были включены два групповых водозабора подземных вод г. Витебска, оборудованных на верхнедевонский водоносный комплекс – «Песковатик» и «Витьба». Для водозаборных скважин задавалось ГУ II рода с установленным значением водоотбора. Реки Западная Двина и ее притоки Лужеснянка и Витьба задавались граничным условием III рода ($Q = Q(H)$). Гидродинамические условия на контурах рек рассматривались как внутренние граничные условия III рода до момента снижения напора в водоносном горизонте до уровня подошвы подрусловых отложений, после чего на реке или ее участке происходил автоматический переход от граничных условий III рода к граничным условиям II рода. На верхней поверхности расчетной области посредством ГУ II рода задавалось инфильтрационное питание подземных вод. Водоотлив из карьера реализовывался в виде граничного условия II рода.

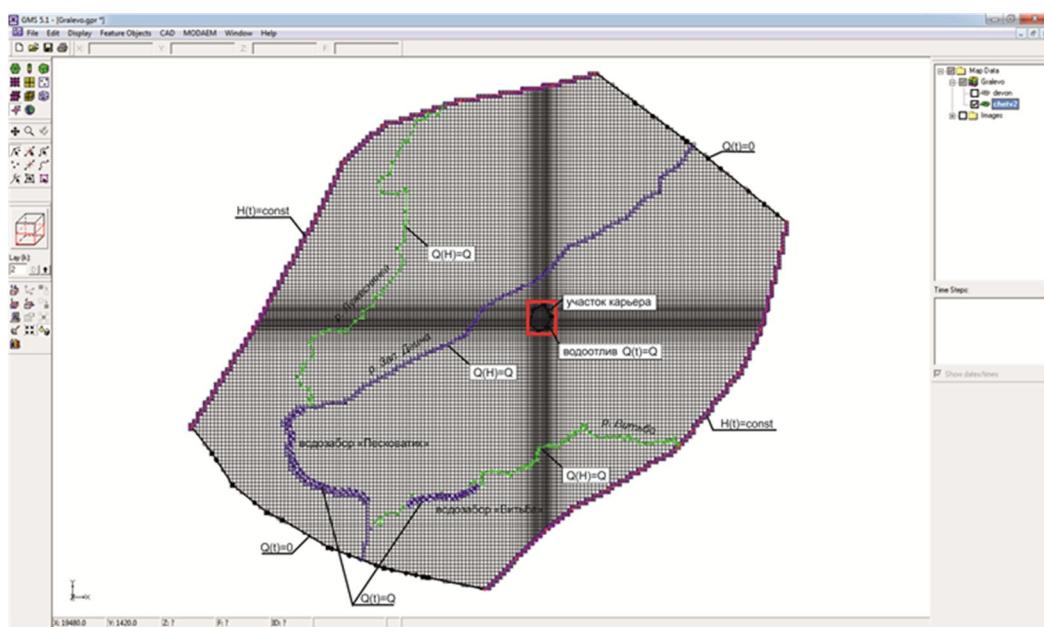


Рис. 2. Схема геофiltрационной модели в плане

Fig. 2. The scheme of geofiltration model in the plan

Результаты и их обсуждение. Оценка достоверности исходной модели, откорректированной в результате решения серии обратных стационарных задач, выполнялась путем задания наблюдательных скважин с фактически установленным положением уровня подземных вод. Интервал ошибки составлял 0,2 м, что вполне приемлемо для масштабов модели.

На разработанной геофiltрационной модели было получено распределение уровней подземных вод (напоров) верхнедевонского комплекса в пределах изучаемой территории, которое соответствовало естественному гидродинамическому состоянию, ненарушенному водохозяйственной деятельностью (эксплуатацией водозаборов и водоотливом из карьера). Режим фильтрации верхнедевонского комплекса происходил в таких условиях в основном под влиянием дренирующего действия р. Западная Двина. Водоносный горизонт в районе исследований имел выраженный региональный характер стока от водораздельных пространств к р. Западная Двина.

Для воссоздания на разработанной геофiltрационной модели современного состояния гидрогеологических условий на этапе, который предшествовал заполнению водохранилища Витебской ГЭС, а также уточнения модели на основании имеющихся данных по эксплуатации водозаборов и карьера и наблюдений за уровнем подземных вод, был задан водоотбор из эксплуатационных скважин водозаборов «Песковатик» и «Витьба» и водоотлив из карьера. Полученные результаты показали, что в этих условиях в зоне карьера наблюдается понижение уровня подземных вод верхнедевонского комплекса с формированием депрессионной воронки. Преимущественное распространение воронки получала в юго-западном направлении от карьера «Гралево» (очевидно под влиянием эксплуатации водозаборов). Несмотря на то, что р. Западная Двина несколько сдерживала ее развитие в северо-западном направлении, имела место распространение депрессионной воронки и на правобережье

реки. Область, охваченная депрессией, составляла ориентировочно 8 км с севера на юг и 13 км с востока на запад.

В районе водозаборов г. Витебска также наблюдалось снижение уровня подземных вод верхнедевонского комплекса с формированием общей депрессионной воронки, смещенной своим центром к водозабору «Витьба». Полученные на этом этапе моделирования уровни подземных вод (напоры) верхнедевонского водоносного комплекса вполне соответствовали данным фактических наблюдений по гидрогеологическим скважинам.

В рамках следующего этапа оценивалось изменение водопритоков в карьер при заполнении водохранилища Витебской ГЭС. После создания водохранилища уровень воды в р. Западная Двина поддерживается на отметке +139 м. Новое значение напора задавалось на модели граничным условием III рода в блоках реки, начиная от плотины (выше устья р. Лужеснянка) до г. Сураж.

Концепция решения прогнозных задач по оценке изменения водопритоков в карьер при заполнении водохранилища базировалась на вариантовой основе пошагового увеличения величины водоотлива до получения в карьере необходимого понижения уровня подземных вод до проектной отметки 119,5 м.

Все этапы разработки геофильтрационной модели, воспроизведение естественных и нарушенных условий, прогнозирование изменения гидрогеологических условий при заполнении водохранилища Витебской ГЭС, оценка водопритоков в карьер показали достаточно высокое соответствие имеющимся фактическим данным по эксплуатации водозаборов и карьера, а также наблюдений за уровнем подземных вод.

Результаты решения прогнозных задач по оценке изменения гидродинамических условий в районе расположения карьера при заполнении водохранилища Витебской ГЭС методом математического моделирования на разработанной геофильтрационной модели показали, что основной причиной повышения уровней подземных вод в районе расположения карьера, а также увеличения водопритока в карьер и, как следствие, водоотлива из него в целях поддержания уровня воды на проектной отметке (+119,5 м), следует считать увеличение напора на внутренней границе моделируемой области – р. Западная Двина после создания на ней водохранилища. Оцененное таким образом увеличение водопритока в карьер «Гралево» вследствие создания водохранилища Витебской ГЭС со ставило 200 тыс. м³/сут, что достаточно близко к реальному увеличению водопритока в этот карьер (180 тыс. м³/сут).

Заключение. Полученные результаты свидетельствуют о достоверности разработанной математической гидрогеологической модели и позволяют использовать ее в дальнейшем для прогнозирования ожидаемых водопритоков в карьер «Гралево» с учетом перспектив его развития (увеличение площади карьера в том или ином направлении, увеличение его глубины или переход на отработку одним уступом), а также при затоплении речными водами старых карьеров «Руба», «Тяково-Койтово» и «Верховье» или при изменении режима эксплуатации групповых водозаборов г. Витебска.

Список использованных источников

1. Полезные ископаемые Беларусь / редкол.: П. З. Хомич [и др.]. – Минск : Адукацыя і выхаванне, 2002 г. – 528 с.
2. Западная Двина – Даугава: река и время / В. Ф. Логинов [и др.]. – Минск : Беларуская наука, 2006. – 270 с.
3. Прогнозирование влияния эксплуатации подземных вод на гидрогеологические условия / В. А. Злотник, М. Ю. Калинин, В. С. Усенко, М. М. Черепанский ; науч. ред. А. В. Кудельский. – Минск : Наука и техника, 1985. – 296 с.
4. Ломакин, Е. А. Численное моделирование геофильтрации / Е. А. Ломакин, В. А. Мироненко, В. М. Шестаков. – М. : Недра, 1988. – 228 с.

References

1. *Poleznyie iskopaemye Belarusi* [Minerals Belarus]. Ed. P. Z. Homich [et al.]. Minsk, 2002, 528 p. (in Russian)
2. Loginov V. F. [et al.]. *Zapadnaya Dvina – Daugava: reka i vremya* [Western Dvina – Daugava: the river and time]. Minsk, Belarusian science Publ., 2006, 270 p. (in Russian)
3. Zlotnik V. A., Kalinin M. Yu., Usenko V. S., Cherepanov M. M. ; nauch. red. Kudelskiy A. V. *Prognozirovaniye vliyanija ekspluatatsii podzemnyih vod na gidrogeologicheskie usloviya* [Prediction of the effect of groundwater exploitation on hydrogeological conditions]. Minsk, Science and technology Publ., 1985, 296 p. (in Russian)
4. Lomakin E. A., Mironenko V. A., Shestakov V. M. *Chislennoe modelirovanie geofiltratsii* [Numerical modeling of geofiltration]. Moscow, Subsoil Publ., 1988, 228 p. (in Russian)

Информация об авторах

Пашкевич Василий Иванович – вед. научный сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: v.i.pashkevich@tut.by

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

Томина Наталья Михайловна – науч. сотрудник, Ин-т природопользования НАН Беларуси, (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: gidroeco@tut.by

Черепанский Михаил Михайлович – д-р геол.-мин. наук, профессор, зав. кафедрой, Российский государственный геологоразведочный ун-т им. Серго Орджоникидзе (ул. Миклухо-Маклая, 23, 117997, г. Москва, Российская Федерация). E-mail: vodamch@mail.ru

Information about the authors

Vasiliy I. Pashkevich – Ph. D. (Geology), Leading Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.i.pashkevich@tut.by

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

Natalia M. Tomina – Researcher, Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoriny Str., 220114, Minsk, Belarus). E-mail: gidroeco@tut.by

Mikhail M. Cherepansky – D. Sci. (Geology and Mineralogy), Professor, Head of Department, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (23, Miklouho-Maclay Str., 117997, Moscow, Russian Federation). E-mail: vodamch@mail.ru

РЕЦЕНЗИИ *REVIEWS*

«ВЕК ГЕОГРАФИИ» – К 100-ЛЕТИЮ ИНСТИТУТА ГЕОГРАФИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК 'THE CENTURY OF GEOGRAPHY' – ON THE 100th ANNIVERSARY OF THE INSTITUTE OF GEOGRAPHY OF THE RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

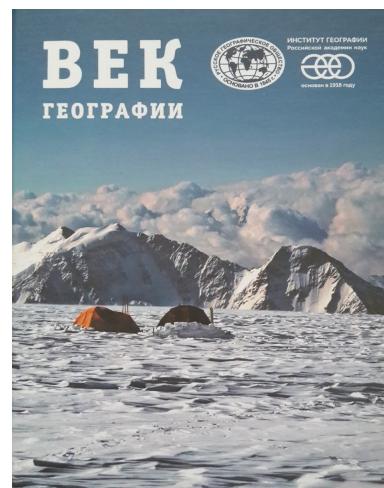
1918 г. является годом основания Института географии Российской Академии наук (ИГРАН). Начало создания научного учреждения положил Промышленно-географический отдел в составе Комиссии по изучению естественных производительных сил РАН в Петрограде, который в последствии был переименован в Геоморфологический институт АН СССР. В 1934 г. он был переведен из Ленинграда в Москву и получил название Институт физической географии АН СССР, а в 1936 г. – Институт географии АН СССР, с 1991 г. – ИГРАН. Столетие существования Института вместило разные этапы развития географической науки, в настоящее время – синтетической дисциплины, дающей возможность познания меняющегося мира на основе современных методов исследований.

К юбилею ИГРАН издана научная монография¹, в которой помимо рассмотрения историографии Института главное внимание удалено результатам нескольких крупных географических проектов: представлены публикации, освещающие актуальные географические проблемы.

Истории деятельности ИГРАН посвящена статья А. А. Тишкова «История с академической географией», содержащая разделы: Краткая история Института географии; Изучение меняющегося мира и изменение представлений о нем – два вектора академической географии XX века; Географы и их судьбы; Лидер текущих и будущих географических исследований в России; Преемственность. Статья написана с учетом восприятия деятельности ИГРАН в научном мире. Особое внимание уделено научным направлениям, научным школам, а также крупным научным проектам, разрабатываемым сотрудниками Института в разное время. Как пишет А. А. Тишков, «Каждая отрасль географии, представленная в Институте, претерпела за 100 лет существенные преобразования, изменившие предмет и объект исследований, восприятие самой географии как общественного явления» (с. 9). Подчеркнуто, что многие ключевые события в географии в XX–XXI вв. в нашей стране во многом были связаны с ИГРАН. История Института рассмотрена также через судьбы многих ученых, работавших в нем. Показано, что достижения ИГРАН и его сотрудников становились объектами внимания и поощрения со стороны государства.

Историко-архивную направленность имеет сопровождаемая рядом иллюстраций статья А. В. Дроздова и С. Х. Юриной «К истории нашего дома в Старомонетном переулке». В ней прослежена история здания, в котором ИГРАН располагается уже 84 года.

Серия публикаций в книге о современных научных проектах начинается с климатической тематики. Статья С. М. Семенова отвечает на вопрос: как человек влияет на глобальный климат Земли. Автор показывает то, как существующие естественные и антропогенные факторы изменяют климат Земли, обратив при этом внимание на необходимость исследований неустойчивых и скачкообразных переходных процессов, которые могут генерировать циклы, скачки и паузы на фоне долгопериодных положительных и отрицательных трендов в изменении климата, приписываемых влиянию парниковых газов. В своей статье О. Н. Соломина подчеркивает, почему необходимо знать климат прошлого и какие прямые и косвенные методы позволяют диагностировать историю их изменений. Автор отмечает ряд ограничений и неопределенности, связанные как с несовершенством реконструкций, так и с ограниченностью нашего понимания причин и следствий климатической изменчивости.



¹ Век географии / под ред. В. М. Котлякова, О. Н. Соломиной, А. А. Тишкова, В. А. Колосова. – М. : Дрофа, 2018. – 447 с.

В работе В. М. Котлякова и В. Н. Михаленко рассматривается климатическая летопись Земли, записанная ледниками. Широкое использование ледниковых кернов при палеогеографических исследованиях позволило не только восстановить климат далекого прошлого, но и получить другую уникальную информацию о газовом и аэрозольном составе атмосферы. Этому способствовало широкое использование новейших физико-химических методов исследований. Статья В. А. Семенова посвящена современным изменениям климата в Арктике.

Проблемы геоморфологии и палеогеографии рассмотрены в статьях Э. П. Зазовской «Изотопные исследования на службе географии и смежных наук», Е. И. Куренковой с соавторами «Первые люди на севере Евразии: палеогеография, время и пути миграций», С. А. Буланова с соавторами «Неспокойный рельеф: четыре геоморфологических сюжета». Очерки основаны на новейших поисках и экспериментах, а также обобщениях ранее выполненных работ.

Современному использованию концепции геосистем, введенной в науку В. Б. Сочавой, посвящен очерк В. О. Таргульяна с соавторами «Память почв и геосистем». Показано, что большие объемы информации о природных и природно-антропогенных взаимодействиях записаны в почве. Интегральная концепция памяти геосистем может стать ключевым элементом их поведения во времени.

Экологические аспекты географических исследований также рассмотрены в книге. Н. И. Коронекевич с соавторами в статье «Человек и вода» показали пути управления водным балансом и качеством вод. Успех технологических решений водных проблем зависит от мониторинга и прогнозирования состояния водных ресурсов под влиянием климатических и антропогенных факторов. Этому должно способствовать восстановление сети воднобалансовых станций.

Возможностям использования космических средств при решении биогеографических и экологических вопросов, в частности миграции птиц, посвящена статья Г. М. Тертицкого с соавторами «География и миграция птиц».

Междисциплинарное исследование ландшафтологов, биогеографов, почвоведов, экономико-географов изложено в статье «Лес против поля или что происходит на заброшенных пашнях России», подготовленной Д. И. Люри с соавторами. Изложенное важно для национальной политики России по устойчивому развитию страны в меняющихся климатических условиях, а также по сохранению и рациональному использованию земельных ресурсов.

Большой объем информации и новые подходы к исследованиям включают статьи экономико-географического содержания, публикуемые в книге: «Пространственная мобильность населения России в XX и XXI веках» Т. Г. Нефедовой, «Москвичи и приезжие: проблемы взаимной адаптации» О. И. Вендиной, «Российское пограничье: сотрудничество и вызовы соседства» В. А. Колосова. Несомненно представляют интерес статьи «География глобальной сети Интернет» А. В. Нагирной и «География мировых религий в эпоху глобализации» С. А. Горюхова.

Все опубликованное основано на результатах работ по разного рода научным проектам сотрудников ИГРАН, что специально оговорено.

Завершает книгу глава для чтения через три десятилетия. В ней изложены представления сотрудников ИГРАН о географии будущего. В 2050 г. возможно будет проверить правильность прогнозов.

В книге много схем, карт, других иллюстраций, помогающих восприятию текста. Издание формирует представление о современной картине научных исследований в ведущем академическом учреждении географического профиля.

Книгу дополняет брошюра². В ней представлена краткая история ИГРАН, современная структура, даются сведения об отделах: гляциологии, физической географии и проблем природопользования, социально-экономической географии, географии и эволюции почв; лабораториях: радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии, климатологии, гидрологии, биогеографии, картографии, геоморфологии, антропогенных изменений климатической системы, эволюционной географии, геополитических исследований, географии мирового развития, геоинформационных исследований; а также о Курской биосферной станции. В брошюре приведен перечень публикаций последних лет. Даются сведения о журналах и публикационной активности Института.

Познакомиться с монографией и брошюрой полезно всем, кто интересуется современной географией.

В. Ф. Логинов, В. А. Снытко, В. С. Хомич

² Институт географии РАН. – М., 2018. – 37 с.

ХРОНИКА CHRONICS

ИТОГИ IV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУК О ЗЕМЛЕ: ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕГИОНОВ»

RESULTS OF THE IV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE 'ACTUAL PROBLEMS ABOUT THE EARTH SCIENCES: RESEARCH AND TRANSBOUNDARY REGIONS'

IV Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов», приуроченная к 1000-летию г. Бреста, состоялась 12–14 сентября 2019 г. на географическом факультете Брестского государственного университета имени А. С. Пушкина. Конференция была организована совместно с Институтом природопользования НАН Беларуси и Брестским государственным техническим университетом.

В ходе церемонии открытия конференции с приветственным словом выступили ректор БрГУ имени А. С. Пушкина доктор педагогических наук, профессор А. Н. Сандер и ректор БрГТУ кандидат технических наук, профессор А. В. Драган. Были заслушаны официальные приветствия участникам конференции от имени Председателя Президиума НАН Беларуси академика В. Г. Гусакова и Председателя Брестского областного исполнительного комитета А. В. Лиса.

Конференция включала пленарные и секционные заседания, полевую экскурсию. В работе конференции приняли участие более 100 ученых и специалистов из Беларуси, Ирана, Казахстана, Литвы, Польши, России и Украины.

Пленарное заседание началось с минуты молчания в память о безвременно ушедшем из жизни выдающемся ученом-геологе академике А. К. Карабанове. С докладом о жизни, пути в науку, вкладе Александра Кирилловича в развитие наук о Земле от группы ученых Института природопользования НАН Беларуси выступил заместитель директора института доктор географических наук В. С. Хомич. Ученый секретарь института кандидат технических наук Г. А. Камышенко представила заявленный А. К. Карабановым доклад на тему «Международное сотрудничество в геологических исследованиях трансграничных регионов», в котором было отмечено, что международное сотрудничество является одним из важнейших направлений исследований трансграничных регионов Беларуси. Так же в докладе были приведены основные результаты выполненных исследований по ряду международных проектов, которые касались проблем тектоники и геодинамики, геофизического изучения земной коры, корреляции стратиграфических подразделений, геологического картирования.



В ходе заседания был заслушан доклад ректора Белорусского государственного технологического университета доктора технических наук, профессора И. В. Войтова, посвященный роли недр в системе устойчивого развития и рационального природопользования. Было отмечено, что на современном этапе одной из приоритетных задач в изучении и освоении ресурсов недр Беларуси является проведение региональных геологических работ, включая геологическую съемку и картирование, проведение научных исследований, направленных на обеспечение вовлечения в хозяйственный оборот новых видов сырья, и др.

Директор Полесского аграрно-экологического института НАН Беларуси кандидат биологических наук Н. В. Михальчук (Брест) представил от коллектива авторов доклад на тему «Тяжелые металлы и микроэлементы в почвах юго-западной Беларуси», в котором было показано, что в условиях юго-запада Беларуси выявлены более высокие уровни накопления некоторых тяжелых металлов в поверхностном слое фоновых почв по сравнению с их агротехногенными аналогами.

Начальником Центра экологии БрГУ имени А. С. Пушкина кандидатом биологических наук А. П. Колбасом были представлены результаты исследований биоремедиации почв, загрязненных металлами, с использованием стратегий фитоэкстракции и производства биомассы, полученные совместно с коллегами из Университета Бордо (Франция). Была обоснована схема фитоменеджмента загрязненных территорий, которая включает начальную оценку рисков при помощи биоиндикации, выбор методов и реализацию фиторемедиационной стратегии.

От международного коллектива авторов из Литвы и Беларуси с докладом на тему «Последеледниковые палеоэкологические исследования трансграничных регионов: общие вопросы и совместные решения» выступила доктор наук М. Станчикайте (Центр исследований природы, Вильнюс), которой были представлены результаты палеогеографических и палеоэкологических исследований белорусско-литовского пограничья, приведены сведения о проведенных палеоклиматических реконструкциях позднеледникового и голоцене региона.

В докладе академика НАН Беларуси В. Ф. Логинова и доктора физико-математических наук С. А. Лысенко (Институт природопользования НАН Беларуси) были рассмотрены особенности, возможные причины и последствия глобальных и региональных изменений современного климата. С использованием обширного фактического материала им были проанализированы особенности изменения температуры воздуха в средних и высоких широтах Северного полушария, а также показана взаимосвязь климатических изменений и биопродуктивности наземных экосистем.



Доклад доктора географических наук, профессора А. А. Волчека (БрГТУ, Брест) был посвящен оценке изменения стока основных речных бассейнов Беларуси за период с 1961 г. и его прогноза на период до 2035 г. Было показано, что изменение стока в среднем по стране является незначительным. Отмечено, что в связи с потеплением климата и активной антропогенной деятельностью назрела необходимость увеличения количества гидрологических станций.

Доктор географических наук, профессор А. Л. Шевченко (Киевский национальный университет имени Т. Шевченко) представил результаты исследования режима и ресурсов подземных вод Полесья и лесостепи в контексте глобальных изменений климата. Выяснено, что в изменениях режима и формировании ресурсов подземных вод в последние десятилетия просматриваются две фазы, связанные с глобальными изменениями климата. Первая отличается заметным повышением уровня

грунтовых вод и увеличением водных ресурсов (1988–2012 гг.) на фоне роста годовой суммы атмосферных осадков, вторая – снижением уровней и некоторым уменьшением общего водного стока при уменьшении суммы атмосферных осадков в отдельных регионах (с 2013 г. по настоящее время).

Доктором сельскохозяйственных наук, профессором Ю. А. Мажайским (Мещерский филиал Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова) в соавторстве были представлены результаты разработки и внедрения способов и устройств заболачивания выработанных торфяников, которые приводят к значительному сокращению сроков строительства системы обводнения торфяника, дают возможность получить определенный экономический эффект и улучшить экологомелиоративную обстановку территории.

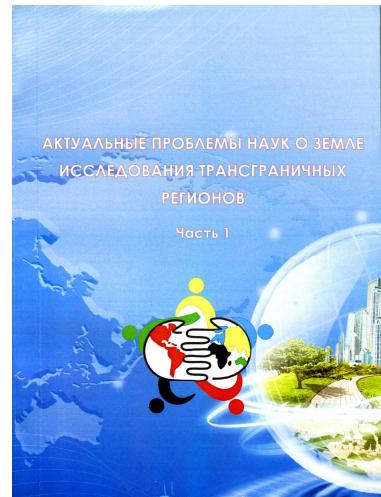
Кандидат географических наук А. А. Сидорович (БрГУ имени А. С. Пушкина) выступил с докладом на тему «Демографическое развитие города Бреста». Было показано, что демографическое развитие г. Бреста происходило как за счет естественного и миграционного движения населения, так и посредством территориального расширения путем включения в состав города пригородных сельских населенных пунктов. При этом за период с 1959 по 2017 г. рост численности населения города лишь на 1/3 обеспечен собственным демографическим потенциалом.

Академик НАН Украины Л. Г. Руденко (Институт географии НАН Украины) в своем докладе рассмотрел проблемы осознания обществом мировоззренческой парадигмы развития. Был представлен проект Стратегии устойчивого развития Украины на период до 2030 года, направленной на обеспечение высокого уровня и качества жизни населения Украины, создание благоприятных условий для деятельности нынешнего и будущих поколений и приостановку деградации природных экосистем путем внедрения новой модели экономического роста, которая базируется на принципах устойчивого развития.

На следующий день работа конференции продолжилась в рамках восьми секционных заседаний. Проблемное поле конференции охватывало геологические, географические и экологические исследования трансграничных регионов, включало обсуждение актуальных проблем общей и региональной геологии, поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, четвертичной геологии, палеогеографии и геоморфологии; трансграничного загрязнения различных компонентов природы (воздуха, воды, почв и др.) и связанных с этим загрязнением проблем; вопросов медицинской геологии и географии; природопользования и природообустройства территорий. В рамках конференции представили свои доклады многие авторитетные ученыe как из академических институтов, так и из учреждений образования и производственных организаций (всего было сделано около 80 докладов).

Для гостей и участников конференции была организована обширная экскурсионная программа, включающая обзорную экскурсию по г. Бресту, посещение археологического музея «Берестье», мемориального комплекса «Брестская крепость – герой», национального парка «Беловежская пуща».

К началу конференции был издан сборник представленных на ней докладов в двух частях: *Актуальные проблемы наук о Земле: исследования трансграничных регионов*: сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к 1000-летию г. Бреста, Брест, 12–14 сент. 2019 г.: в 2 ч. / Ин-т природопользования НАН Беларуси, Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина, Брест. гос. техн. ун-т; редкол.: А. К. Карабанов, М. А. Богдасаров, А. А. Волчек. – Брест: БрГУ, 2019. – Ч. 1. – 299 с.; Ч. 2. – 293 с.



M. A. Богдасаров, E. A. Кухарик

ЮБИЛЕИ
JUBILEE

К 70-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ Б. В. КУРЗО
TO THE 70th ANNIVERSARY OF B. V. KURZO



В 2019 году исполняется 70 лет Борису Валентиновичу Курзо – выдающемуся ученому с мировым именем в области изучения и использования сапропеля, доктору технических наук, заведующему лабораторией использования и охраны торфяных и сапропелевых месторождений Института природопользования Национальной академии наук Беларусь.

Сапропель – наше национальное богатство. И когда у хозяйственников – аграриев и промышленников, ученых, экологов, журналистов и просто интересующихся людей возникает вопрос о сапропеле, они, безусловно, – рано или поздно – звонят и приходят к Борису Валентиновичу – никто больше, чем он, не знает о сапропеле.

Борис Валентинович Курзо родился 28 октября 1949 года в Минске в семье служащих. Детство его прошло в Слониме – небольшом районном центре Гродненской области.

После окончания школы в 1967 году Борис Валентинович выбрал поступление на геолого-географический факультет Белорусского государственного университета имени В. И. Ленина. Интерес к озерам возник у Б. В. Курзо в студенческие годы под влиянием знаменитого ученого-озероведа, профессора Ольги Филипповны Якушко.

Через несколько лет после окончания университета, в 1976 году Борис Валентинович стал работать в Институте торфа Академии наук Белорусской ССР. В то время для изучения состава, свойств и направлений использования сапропелей была создана лаборатория, которую возглавил М. З. Лопотко. Тогда же, для оценки ресурсного потенциала белорусских озер была создана группа для проведения поисково-оценочных работ на сапропель. Эта группа впоследствии трансформировалась в лабораторию ресурсов и генезиса сапропелевых месторождений, которую возглавил Б. В. Курзо. Данные о ресурсах сапропеля, его мощности, составе и свойствах добывались в трудных полевых условиях – летом на лодках, зимой со льда, на неустойчивом торфяном основании, часто – экстремальных погодных условиях. Во многих из этих экспедиций принимал участие и Борис Валентинович, одновременно обучаясь в целевой аспирантуре в Калининском политехническом институте (ныне – Тверской государственный технический университет).

В результате поисково-оценочных работ на сапропель разведано более 660 из 1900 озер ледникового происхождения. Эти данные систематизированы в специально изданных Кадастрах сапропелевых отложений озер по административным областям Беларусь. В настоящее время существует и электронный вариант кадастра, выполненный также под руководством Б. В. Курзо.

В конце 1970-х годов учеными Института торфа М. З. Лопотко, Г. А. Евдокимовой, С. В. Богдановым и Б. В. Курзо создана промышленно-генетическая классификация сапропеля. В настоящее время это национальный стандарт СТБ 17.04.02-01-2010.

Итогом первоначального этапа в научной деятельности Бориса Валентиновича стала защита в 1982 году в Калинине диссертации «Условия формирования, состав и геологическая оценка запасов сапропелей краевой зоны Валдайского оледенения» (научный руководитель И. Ф. Ларгин) на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук и первая монография в соавторстве с С. В. Богдановым «Генезис и ресурсы сапропелей Белоруссии», изданная в Минске в 1986 году.

В конце 1980-х – начале 1990-х годах цикл работ Б. В. Курзо был посвящен актуальной после аварии на Чернобыльской АЭС теме радиационного загрязнения сапропелевых месторождений. Свидетельством неоднократного посещения ученым загрязненных регионов является удостоверение ликвидатора аварии на ЧАЭС. Много внимания в то время уделялось также экологическим проблемам добычи сапропеля. Исследования выполнены Борисом Валентиновичем совместно с коллегами

О. И. Чумаковой, Н. Ю. Хариной, Л. П. Сенькович, а также в содружестве с учеными-озероведами БГУ Б. П. Власовым, Г. С. Гигевич, З. К. Карташевич.

Дальнейшие исследования озерного осадконакопления в середине 1990-х годов привели Б. В. Курзо с коллегами из БГУ и Института геологических наук НАН Беларуси (В. А. Кузнецова, А. Л. Жуховицкая, Б. П. Власов) к изучению седиментогенеза и стратиграфии отложений. Здесь озера рассматривались не только традиционно как аккумуляторы органического вещества, но и как накопители и хранители истории развития озер и озерного водосбора, климата и биологического разнообразия в постледниковый период. Результатом этих исследований явились монографии «Озерный седиментогенез в голоцене Беларуси: геохимические и биологические аспекты» и «Озеро Долгое (седиментогенез, стратиграфия донных отложений и этапы развития)».

Характеристика фонового накопления некоторых микроэлементов и использование Борисом Валентиновичем в дальнейших исследованиях биоанализа озерных отложений нашли применение для интерпретации трофности и экологического состояния озер по донным осадкам сначала в небольших озерах Ушачской группы в Белорусском Поозерье, а затем самого большого водоема Беларуси – озера Нарочь – площадью 80 км².

Итогом большой работы в области ресурсов сапропеля стала публикация целой серии карт и диаграмм в фундаментальном и престижном Национальном атласе Беларуси.

В 1990-е годы под научным руководством Б. В. Курзо были продолжены работы по использованию сапропеля в сельском хозяйстве (Г. А. Евдокимова, О. М. Гордобудская) и бальнеологии (Ф. А. Пунтус, Э. С. Кашицкий).

Борис Валентинович в начале 2000-х годов инициировал исследования по запасам сапропеля, залегающих под слоем торфа. По расчетам Б. В. Курзо примерно каждое третье торфяное месторождение подстилается сапропелем.

В научно-прикладной сфере исследований для решения задач рационального использования сапропеля Борис Валентинович выдвинул идею применения энергетической оценки, что позволило оценить известные способы освоения месторождений сапропеля и на этой основе предложить новые, такой, например, как канатно-скреперный способ добычи. На ковш канатного скрепера для добычи действует охранный документ на патент как на объект интеллектуальной собственности (соавтор О. М. Гайдукевич).

Для понимания общих закономерностей формирования сапропеля выполнен анализ и обобщен большой фактический материал по генезису, стратиграфии и геохимии озерных отложений в различных природных условиях Беларуси, что позволило всесторонне охарактеризовать эволюцию разнотипных месторождений сапропеля, разработать научно обоснованную генетическую классификацию залежей и выполнить районирование территории Беларуси по вещественно-генетическим типам озерного осадконакопления.

Итогом работ по генезису и рациональному использованию ресурсов сапропеля стала монография «Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля» и защита в 2007 г. диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук на тему: «Горно-геологические условия формирования месторождений сапропеля, экологобезопасные технологии их разработки и комплексное использование сапропелевых ресурсов Беларуси».

По результатам выполненных Борисом Валентиновичем научно-прикладных работ организована добыча сапропелевых лечебных грязей, сырья для производства кормовых добавок, сапропелевых удобрений и буровых растворов на озере Червоное Житковичского района, а также в озерах Святое Рогачевского района, Великое Мозырского района Гомельской области, Судобль Смолевичского района Минской области, Вальверово Поставского, Малая Корчинка Глубокского района Витебской области, Лочинское Осиповичского района Могилевской области и других объектах.

Под руководством Б. В. Курзо в Лельчицком районе Гомельской области проведены изыскания на месторождении сапропеля «Прибыловичи». На этой сырьевой базе в ОАО «Лельчицкий агросервис» внедрена технология производства сапропелевой кормовой добавки и введен в эксплуатацию цех производительностью 10 тыс. т в год.

В рамках научного обеспечения Государственной программы «Торф» на 2008–2010 годы и период до 2020 года (научный руководитель И. И. Лиштван) под руководством Бориса Валентиновича разработана и освоена технология комплексного использования торфяных месторождений, подстилаемых сапропелем для увеличения эффективности сельскохозяйственного производства и организации выпуска топливных гранул и гуминовых препаратов многоцелевого назначения из торфа и сапропеля (совместно с В. К. Жуковым).

На основе детального экспедиционного и камерального изучения большого количества торфяных месторождений в последнее время подготовлены сырьевые базы: для комплексного использования торфа на базе месторождения Туршевка Крупского района Минской области; для производства

пеллет на месторождении Кораны Осиповичского района; для производства питательных грунтов на базе месторождения Нивское Кличевского района Могилевской области, а также другие объекты.

Белорусской национальной биотехнологической компанией на основе выявленной под руководством Б. В. Курзо сырьевой базы ведется создание крупного производства инновационной продукции.

Результаты научной деятельности Бориса Валентиновича представлены в 260 научных работах, в том числе в 5 коллективных и 1 персональной монографии, которые опубликованы в Беларуси, а также в ближнем (Польша, Литва, Россия) и дальнем (Япония) зарубежье.

Долгое время Б. В. Курзо совмещал научную деятельность с педагогической работой по совместительству профессором кафедры общего землеведения и гидрометеорологии географического факультета Белорусского государственного университета. Борис Валентинович Курзо является членом Ученого совета Института природопользования НАН Беларуси, совета по защите докторских диссертаций Д 01.23.01, Республиканской комиссии по запасам полезных ископаемых Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь.

Свойственные Борису Валентиновичу Курзо интеллигентность, пытливость, широкий кругозор, целеустремленность, энергичность, высокая работоспособность и одновременно обширнейшие знания позволяют ему быть лидером науки, изучающей ценнейшее богатство белорусских озер – сапробель – в широчайшем спектре познания его генезиса, ресурсов, направлений полезного использования на благо Человечества.

С юбилеем, уважаемый Борис Валентинович!

**Н. Н. Бамбалов, И. И. Лиштван, А. Э. Томсон,
В. А. Ракович, О. М. Гайдукевич**

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 (300 точек на дюйм. Фотографии, помещаемые в статье, должны иметь контрастное черно-белое или цветное изображение. Желательно предоставлять 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 17 325 84 55.

Научное издание
Scientific publication

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
NATURE MANAGEMENT

№ 2, 2019

Редактор Н. Т. Гавриленко
Editor N. T. Gavrilenko

Компьютерная верстка Т. Н. Козловская
Computer page making T. N. Kozlovskaya

Переводчик М. Ю. Артюшевская
Translator M. U. Artushevskaya

Подписано в печать 12.12.19. *Signed into print 12.12.2019.*
Формат 60×90/8. Бумага офсетная. *60×90/8 format. Office paper.*
Гарнитура Ариал. Печать цифровая. *Arial garniture. Digital print.*
Усл. печ. л. 33,4. *Conditional printed sheets 33.4.*
Уч.-изд. л. 31,3. *Conditional edited sheets 31.3.*
Тираж 120 экз. *Circulation 120 copies.*
Заказ № 1336. *Order No. 1336.*

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*